Über

Temperaturmessungen

nach bolometrischem Princip,

ein Beitrag zur spezifischen Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

Inaugural-Dissertation

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt

von

Wilhelm Brüsch

aus Rostock.

Rostock.

Carl Boldt'sche Hof-Buchdruckerei.

1894.

Referent: Herr Professor Dr. phil. et med. **L. Matthiessen.**

SEINEM HOCHVEREHRTEN LEHRER

HERRN

DR. PHIL. ET MED. L. MATTHIESSEN

ORDENTLICHEM PROFESSOR DER PHYSIK
AN DER LANDESUNIVERSITÄT

IN DANKBARKEIT UND VEREHRUNG

GEWIDMET

VOM VERFASSER.

Seit durch Krönig, Clausius, Maxwell u. a. die mechanische Wärmetheorie begründet und zu ihrer jetzigen Vollkommenheit und Feinheit ausgebildet worden ist, ist es auch das Bestreben der Experimentalphysik gewesen, die durch jene grossen Forscher aufgestellten Gesetze so fein als bei zu Gebote stehenden Mitteln möglich, durch das Experiment, das wichtigste Kriterium für die Richtigkeit der ersteren, nachzuweisen.

Im Gebiete der Wärme und zwar speziell der spezifischen Wärme ist nun wohl bei keiner Substanz von vornherein eine grössere Sorgfalt auf die Bestimmung der Wärmekapazität verwendet worden als bei dem Wasser. Denn, wenn dieses auch schon infolge seiner sonstigen grossen und auffallenden Ausnahmestellungen in der Natur die Aufmerksamkeit des Physikers auf sich zog, so musste dies um so mehr der Fall sein, als gerade durch diese Substanz und ihre Temperaturerhöhung ja die Wärmeeinheit definiert wird. Es findet aber eine Änderung der spezifischen Wärme des Wassers mit der Temperatur statt! Wie die Versuche Regnaults bereits ergeben haben, ist diese Schwankung in dem Intervalle von 0 ° bis 100 ° glücklicherweise nicht so gross, als dass sie für Messungen in der Praxis sehr ins Gewicht fallen könnte. Doch dürfte sie bei feineren Messungen, wie etwa der Bestimmung der specifischen Wärme von sehr verdünnten Salzlösungen

bei verschiedenen Temperaturen, wohl berücksichtigt werden müssen. Bei höheren Wärmegraden wird sie ohne Zweifel stets in Rechnung zu ziehen sein, wie schon aus den Resultaten der bis jetzt vorliegenden Untersuchungen festgestellt worden ist.

Es sind nun auch, nach dem Vorgange Regnaults, hinsichtlich des in Rede stehenden Punktes eine ganze Reihe von Versuchen vorgenommen worden: Aber so sorgfältig und mannigfaltig diese auch sein mögen, so weisen ihre Ergebnisse doch eine so geringe Übereinstimmung auf, dass die Forschungen in dieser Richtung füglich nicht als abgeschlossen betrachtet werden können. Denn die einen Beobachter finden bei dieser, die anderen bei jener Temperatur ein Maximum beziehentlich Minimum der Kapazität; noch andere konstatieren ein gleichmässiges Wachsen mit der Temperatur.

Was nun die verschiedenen, bisher zur Anwendung gekommenen Methoden betrifft, so bedienten sich Regnault [1], Jamin-Amaury [2], Hirn [3], Baumgartner [4] und Velten [5] der Mischungsmethode, welche trotz mancher Fehlerquellen wohl immerhin noch die genaueste und zuverlässigste [6] ist. Henrichsen [7], auch Velten [8], dagegen bestimmten ihre Werte mit dem Bunsen'schen Eiskalorimeter; Dieterici [9]

---

[1] Pogg. Ann. 79, 1850, pag. 241—255, ferner: Ann. de chem. et phys. II. T. 73, p. 35. 1840. Pogg. Ann. 51. p. 72.

[2] Compt. rend. 70. 1870, p. 661—66. Joule's Ges. w. benutzt.

[3] Ibidem pag. 592—605 u. p. 831—834. Die Methode ist eine modifizierte. Man sehe die Abhandlg. nach.

[4] Wiedem. Ann. 8, 1879, p. 649—653 (veröffentlicht v. L. Pfaundler).

[5] Wiedem. Ann. 21, 1884, p. 31—64.

[6] Violle sagt in seiner Abhandlung: „Sur un calorimètre par refroidissement," Compt. rend. 94, 1882, p. 1510—1512: „La méthode des mélanges est assurément la plus commode pour mesurer une chaleur spécifique."

[7] Wiedem. Ann. 8, 1879, p. 83—92.

[8] Wiedem. Ann. 21, 1884, p. 49.

[9] Wiedem. Ann. 33, 1888, p. 415, speciell pag. 440 („Über die Bestimmung des mechanischen Äquivalentes der Wärme und über die spezifische Wärme des Wassers"). Vide auch Rowland, p. 52 Anm. 1.

knüpft an die von ihm mit Hülfe des Joule'schen Gesetzes ausgeführte Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes eine Betrachtung über die Änderung der specifischen Wärme des Wassers mit der Temperatur. Ferner liegen noch Messungen von Münchhausen[1], Bartoli und Stracciati[2], Gerosa[3] und Marie Stamo[4] vor, welche aber teils infolge der Unzulänglichkeit der angewendeten Quecksilberthermometer, teils wegen der geringen Übereinstimmung der Zahlenwerte unter sich, sowie der zu geringen Zahl der Beobachtungen, als nicht sehr in Betracht kommend zurückgewiesen werden müssen. Sodann hat Bosscha[5] aus Regnaults Versuchen durch Korrektionsrechnungen ein befriedigendes Resultat zu erzielen versucht, ohne jedoch dieses zu erreichen[6]. Pfaundler und Platter haben ihre Resultate als nicht ganz zutreffend widerrufen[7].

Um nun das vorhin betreffs der Ergebnisse Behauptete zu beweisen, sind mit Hülfe der Formeln, welche die Beobachter zum Teil aus ihren Zahlen abgeleitet haben, in der beifolgenden Tabelle[8] die Werte gegenübergestellt worden; aus dieser Übersicht sowie den dazu konstruierten Kurven[9] ist die ungeheure Verschiedenheit der sich ergebenden Grössen hinreichend ersichtlich.

---

[1] Veröffentlicht v. Wüllner: Wiedem. Ann. 1, 1877, p. 592.

[2] Beiblätter 1891.

[3] Atti della R. Academia dei Lincei (3) 10, p. 75, 1881.

[4] Beiblätter 1879, p. 344.

[5] Pogg. Ann. Jubelband, p. 549—557.

[6] Auch sind diese Korrektionen von Regnault selbst beanstandet worden. Auch Wüllner vertritt diese Ansicht.

[7] Pogg. Ann. 140, p. 574, 1870 u. ibid. 141, p. 573 ff. 1870.

[8] Vide Tab. 1, pag. 8.

[9] Vide Taf. 1, Fig. 1 u. 2. Anm.: Das Verhältnis, in dem die Auftragung stattgefunden hat, ist bei den betreffenden Figuren angegeben. Die Resultate aus der Mischungsmethode sind durch ——-, die aus dem Bunsen'schen Eiskalorimeter durch ———- und die gelegentlich der Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes erhaltenen durch —·—·—Kurven dargestellt.

Tabelle I.

	I. Regnault.	II. Bosscha.	III. Jamin-Amaury.	IV. Baumgartner.	V. Velten.	VI. Henrichsen.	VII. Münchhausen.	VIII. M. Stamo.	IX. Gerosa.	X. Dieterici.
0°	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	
1°	1,00004	1,00022	1,00110	1,00031	0,99856	1,00032	1,00030	1,00126	1,00111	
2°	1,00008	1,00044	1,00220	1,00061	0,99716	1,00065	1,00060	1,00251	1,00222	
3°	1,00012	1,00066	1,00331	1,00092	0,99582	1,00098	1,00091	1,00377	1,00335	
4°	1,00017	1,00088	1,00441	1,00122	0,99452	1,00133	1,00121	1,00502	1,00450	
5°	1,00022	1,00110	1,00553	1,00154	0,99326	1,00168	1,00151	1,00628	1,00565	
6°	1,00027	1,00132	1,00664	1,00184	0,99205	1,00204	1,00181	1,00753	1,00682	
7°	1,00032	1,00154	1,00775	1,00215	0,99089	1,00241	1,00211	1,00879	1,00799	
8°	1,00037	1,00176	1,00887	1,00245	0,98976	1,00278	1,00242	1,01004	1,00918	
9°	1,00043	1,00198	1,00999	1,00276	0,98868	1,00317	1,00272	1,01130	1,01039	
10°	1,00049	1,00220	1,01112	1,00307	0,98765	1,00356	1,00302	1,01255	1,01160	0,99430
20°	1,00116	1,00440	1,02248	1,00614	0,97941	1,00793	1,00604	1,02510	1,02440	0,98930
30°	1,00201	1,00660	1,03408	1,00921	0,97465	1,01311	1,00906	1,03765	1,03840	0,98720
40°	1,00304	1,00880	1,04592	1,01228	0,97271	1,01910	1,01208	1,05020		0,99340
					43,5°: 0,97259					
50°	1,00425	1,01100	1,05800	1,01535	0,97297	1,02589	1,01510	1,06275		0,99950
60°	1,00564	1,01320	1,07032	1,01842	0,97477	1,03349	1,01812	1,07530		1,00570
70°	1,00721	1,01540	1,08288	1,02149	0,97747	1,04191	1,02113	1,08785		1,01200
80°	1,00896	1,01760	1,09568	1,02456	0,98043	1,05114	1,02415	1,10040		1,01820
90°	1,01089	1,01980	1,10872	1,02763	0,98301	1,06117	1,02717	1,11295		1,02440
100°	1,01300	1,02200	1,12200	1,03070	0,98456	1,07201	1,03019	1,12551		1,03060

Anmerkung: Die Beobachtungen unter IV., VI. und VII. stimmen ganz gut überein, ebenso die unter III., VIII. und IX; doch weichen beide Gruppen bedeutend von einander ab.

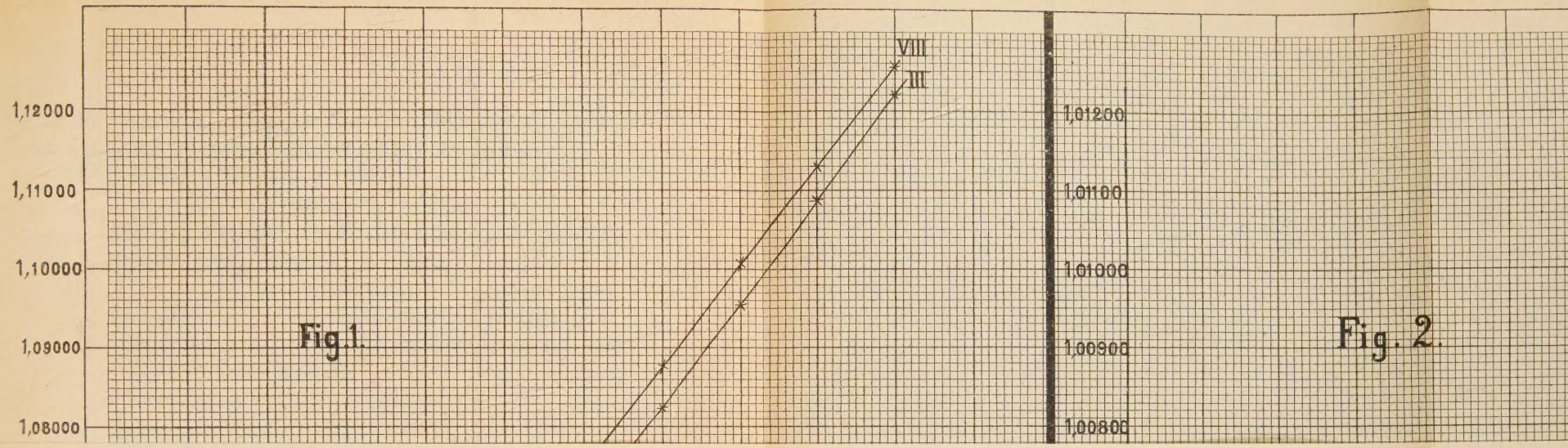

1,12000
1,11000
1,10000
1,09000
1,08000
VIII
III
1,01200
1,01100
1,01000
1,00900
1,00800

Fig. 1.

Fig. 2.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553619_0130

Es mögen hier auch die Formeln Platz finden, welche die einzelnen Experimentatoren aufgestellt haben:

1. Regnault (Ann. 79, p. 254):

$$C_t = 1 + 0{,}000\,04t + 0{,}000\,0009\,t^2.$$

Also ein Minimum $= 0{,}999\,546\,8$ bei $t = -22{,}22^0$.

2. Bosscha (Ann. Jubelbd., p. 557):

$$C_t = 1 + 0{,}000\,22\,t.$$

Es findet von 0^0 an ein beständiges Steigen statt.

3. Jamin und Amaury, welche in dem Intervalle von 0 bis 75^0 beobachteten:

$$C_t = 1 + 0{,}001\,10\,t + 0{,}000\,0012\,t^2.$$

4. Baumgartner (pag. 652):

$$C_t = 1 + 0{,}000\,307\,t.$$

5. Velten (Mischungsmethode). Dieser stellt die Formel auf:

$$C_t = 1 - 0{,}001\,462\,551\,2\,t + 0{,}000\,023\,798\,1t^2 - 0{,}000\,000\,107\,16\,t^3$$

findet mithin ein Minimum $= 0{,}97\,259$ bei $43{,}5^0$ und ein Maximum bei $104{,}5^0$. Er benutzt bei der Berechnung seine eigenen Beobachtungen, sowie die von Münchhausen, Rowland und Regnault. Doch muss ausdrücklich hervorgehoben werden, dass die so erhaltenen Zahlen recht wenig mit denen von Velten selbst übereinstimmen. Besser sind allerdings die nicht mit zur Berechnung herangezogenen und mit dem Bunsen'schen Eiskalorimeter gefundenen Werte. Immerhin ist es eine ganz richtige Folgerung Veltens, dass, da die Gleichung für die Bestimmung des Maximums oder Minimums nur vom 2. Grade ist, noch keine Schlüsse bezüglich der Werteverteilung zwischen 0^0 und 4^0 gezogen werden können. Ebenso müssen wir uns seiner Ansicht anschliessen, dass gerade in diesem Intervalle sich besonders ausgezeichnete Stellen finden müssen; schon die Beobachtungen von Pfaundler und Platter[1], sowie die von Gerosa und auch teilweise

[1] Pogg. Ann. 141, p. 537, 1870.

die von Regnault[1] weisen darauf hin. Die Ergebnisse aus seinen Beobachtungen selbst stellt Velten in folgenden Sätzen zusammen:

I. (Mischungsmethode p. 47): Von 5° bis 12° und darüber hinaus findet ein Wachsen, von 26°—40° eine Abnahme statt, so dass zwischen 12° und 26° ein Maximum zu konstatieren ist. Darauf nimmt die spez. Wärme zwischen 40° und 70° wieder zu; es ergiebt sich in der Nähe von 40° ein Minimum. Bei 100° ist abermals ein Maximum.

II. Eiskalorimeter (p. 61): Zwischen 0° und 7,31° wird die mittlere spezifische Wärme als die grösste gefunden, die überhaupt für ein Temperaturintervall vorkommt. Sie erreicht zwischen 14° und 27° ein zweites Maximum, bei 40° ein Minimum und steigt dann über 40° hinaus bis zu 100°.

6. Henrichsen (pag. 91). Es wird berechnet:

$$C_t = 1 + 0{,}000\,315\,6\,t + 0{,}000\,00\,4045\,t^2.$$

Die beobachteten Werte selbst lassen keine eigentliche Diskussion zu, da sie sich auf eine willkürlich gewählte Einheit beziehen.

7. Münchhausen (Ann. 1877, p. 592):

$$C_t = 1 + 0{,}000\,301\,92\,t.$$

8. Marie Stamo (Beibl. 1879, p. 344):

$$C_t = 1 + 0{,}001\,255\,05\,t.$$

Die Bestimmungen wurden bei 39° und 57° gemacht.

9. Gerosa führt Versuche zwischen 0° und 30° an und findet:

$$C_t = 1 + 0{,}0011\,t + 0{,}000\,006\,t^2.$$

Aus dem Vorstehenden ist wohl hinreichend deutlich zu erkennen, wie unzureichend die Resultate noch sind. Dazu kommt noch, dass die angewendeten Thermometer

[1] Compt. rend. 70, p. 665, 1870.

oft nicht genügend fein und empfindlich gewesen sind, so dass bei den an und für sich schon kleinen Grössen sich leicht, trotz aller Genauigkeit der Versuche, bedeutende Messungsfehler einschleichen konnten. Da ausserdem zuweilen hinsichtlich der Beschaffenheit der gebrauchten Thermometer nichts Näheres gesagt ist, so lässt auch dieser Punkt noch Unsicherheiten in der Beurteilung der Ergebnisse zu.

Alle diese Umstände im Verein mit der Bedeutung, die dem Gegenstande für die Wärmemessung beigelegt werden muss, veranlassten mich im Jahre 1892, die spezifische Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen einer nochmaligen Untersuchung zu unterwerfen, wobei ich namentlich die Feinheit der Temperaturmessungen zu vervollkommnen bedacht war.

Erster Teil.

Über Temperaturmessungen nach bolometrischem Prinzipe.

Bei den vorliegenden Versuchen musste besonders darauf grosses Gewicht gelegt werden, dass die zur Temperaturmessung dienenden Instrumente einerseits den Wärmegrad in so kleinen Bruchteilen der Celsiusskala als irgend angängig und andererseits ihn möglichst schnell anzeigten. Dazu genügt im allgemeinen das Quecksilberthermometer nicht, da es bei steigender Temperatur jederzeit etwas zurück und bei fallender etwas vor bleibt. Ausserdem sind ja auch bekanntlich noch manche Korrektionen, wie z. B. wegen der Schwankung der Kalibergrösse, der Lage des Null- und des Siedepunktes, ferner wegen des heraushängenden Fadens nötig, die bei nicht hinreichend genauer Feststellung die Messungen nicht wenig in ihrer Güte beeinträchtigen können.

Ebenso ist es schwierig, mit einem Thermometer genauester Konstruktion weniger als $^1/_{100}$ Grad abzulesen. Es war daher eine grosse Errungenschaft für die experimentelle Physik und besonders für das Gebiet der strahlenden Wärme, als Nobili und Melloni[1] die von

[1] Pogg. Ann. 62. 1844, p. 18—30. „Untersuchungen über die Temperatur der verschiedenen Lichtstrahlen des Sonnenspektrums", v. Herrn Melloni, ferner: Compt. rend. T. 18, p. 39.

Seebeck entdeckten Thermoströme für die Herstellung feiner Temperaturmessinstrumente, der sogenannten Thermomultiplikatoren, nutzbar machten. Auch für höhere Temperaturen bediente man sich später mit Erfolg dieser Methode. In letzter Zeit ist auch ihre Feinheit noch bedeutend durch die von den Herren Roberts-Austen[1], sowie Hollborn und Wien[2] angestellten Versuche erhöht worden. Doch muss gleichwohl gegen die Anwendung der Thermoelemente der gewichtige Einwand erhoben werden, dass die Maxima der Ausschläge bei gegebener Temperatur stets erst allmählich und nicht in möglichst kurzer Zeit erreicht werden. Auch ist der Verlauf der Energiekurven meistens ein zu unregelmässiger, als dass durch sie der Wärmegrad hinreichend genau angegeben werden könnte.

Alle diese Übelstände — insbesondere der erste und wichtigste — werden durch das sogenannte bolometrische Princip, wie es zuerst von Svanberg[3] im Jahre 1851 gefunden und publiziert wurde, beseitigt, und es wird wohl hier angebracht sein, etwas näher auf die Einrichtung und Entwickelung der hierauf beruhenden Instrumente einzugehen, um so mehr als diese Methode für die neueren physikalischen Untersuchungen, namentlich für die strahlende Wärme, sich als sehr brauchbar erwiesen hat und noch fernerhin sehr nutzbringend zu werden verspricht.

Das „galvanische Differentialthermometer," wie es von Svanberg zuerst genannt wurde, oder auch „Bolometer," nach Langley's Bezeichnung, beruht im wesent-

---

[1] Nature 45, 7. April 1892. Phil. Mag. 5, 32, pag. 353—355, 1891.

[2] „Über die Messung hoher Temperaturen." (Mitteilung a. d. Physikal.-technischen Reichsanstalt.) Zeitschrift f. Instrumentenkunde Nr. 8. Aug. 1892.

[3] A. F. Svanberg, Pogg. Ann. 1851, 84, p. 411.

lichen auf der von Davy[1] im Jahre 1821 gefundenen Thatsache: „Das Leitungsvermögen der Metalle ändert sich mit der Temperatur, und zwar nimmt dasselbe ab, wenn diese wächst, in irgend einem Verhältnis zu derselben.“ In der Folge wurden von Lenz[2], Becquerel[3], Arndtsen[4] u. a. sorgfältige Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit der Metalle bei verschiedenen Temperaturen angestellt, und es ergab sich, dass man für den Widerstand bei t^0 setzen kann:

$$w_t = w_0 (1 + \alpha t),$$

wenn w_0 der Widerstand bei 0^0 und α der Temperaturkoeffizient[5] der betreffenden Metallsorte ist.

Clausius[6] machte darauf aufmerksam, dass das α der Formeln für reine Metalle fast identisch sei mit dem Ausdehnungskoeffizienten der permanenten Gase, so dass man auch schreiben kann:

$$w = R \cdot T,$$

wenn R ein konstanter Faktor und T die absolute Tem-

---

[1] Gilbert's Ann. d. Phys. 1822, 71, p. 241.

[2] Mémoire de l'Académie des Sciences T. II. 1833, p. 631 und Schweigger's Journal, Bd. 64.

[3] Annales de Chem. et Phys. (3) T. XVII, p. 266 u. Pogg. Ann. 70, p. 243.

[4] Pogg. Ann. 1858, 101, p. 1 ff., ferner in neuerer Zeit: James Dewar u. J. Fleming: „Über den elektrischen Leitungswiderstand von Metallen, Legirungen und Nichtmetallen bei der Siedetemperatur des Sauerstoffes.“ Phil. Mag. 1892, ser. 5, Vol. 34, p. 326. Referat in der Naturwissenschaftlichen Rundschau, p. 663, Nr. 53. VII. Jahrg. 1892.

[5] Den „Temperaturkoeffizienten (α)“ kann man als diejenige Zahl bezeichnen, welche angiebt, um wie viel sich die Einheit des Widerstandes bei der Erwärmung um 1° C. ändert. Dieses so definierte α ist mithin wohl von dem Ausdehnungskoeffizienten α der Gase zu unterscheiden. Zieht man die Analogie mit diesem, so würde die Bezeichnung „Widerstandskoeffizient“ passender sein.

[6] Pogg. Ann. 1858, 104, p. 650. Anm.: Für reine Metalle würde mithin die Formel lauten: $w_t = w_0 (1 + 0{,}003\,66\, t)$; doch genügen schon geringe Verunreinigungen, um dieses Ergebnis illusorisch zu machen.

peratur $= t + 273{,}4$ ist. „Der Leitungswiderstand der festen elektrischen Leiter ist demnach den absoluten Temperaturen proportional[1].“ Ferner suchte Müller[2] einen Zusammenhang zwischen der Zunahme des Leitungswiderstandes und der spezifischen Wärme nachzuweisen.

Svanberg war nun der erste, welcher auf den Gedanken kam, diese Änderung des Widerstandes zur Temperaturmessung zu benutzen, und es wird ihm diese anfangs nicht beachtete Priorität wohl nicht mehr bestritten. Svanberg beschrieb bereits ein solches, wenn auch infolge der Anwendung besponnener Drähte noch unvollkommenes Instrument und gab eine mathematische Berechnung der Empfindlichkeit an. In der Folgezeit wurde dieser Apparat jedoch von den Physikern gänzlich unbeachtet gelassen, und zwar zweifellos aus dem Grunde, weil es damals noch mit technischen Schwierigkeiten verknüpft war, in einem möglichst kleinen Raume mi[illegible]olierten Draht getrennt aufzuspannen. Dieses Hindernis wurde im Jahre 1870 von Siemens[3] bei dem von ihm konstruierten Pyrometer überwunden. Die Methode selbst wurde jedoch besonders von Langley[4] im Jahre 1880 durch die Anwendung der vervollkommneten Wheatstone'schen Brücke sehr verbessert; mit diesem Instrumente stellte

---

[1] Mousson, Physik 1874, Bd. III, p. 309.

[2] Pogg. Ann. 73, p. 434.

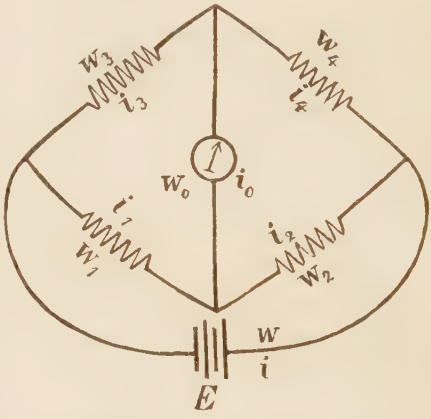
[3] Dingler's polytechn. Journal 198. Bd., 1870, p. 258—59.

[4] Langley: 1) Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. Boston 16, 1881. 2) Chem. News 43, p. 6, 1881. 3) Silliman Journal (3) 20, p. 187. 4) Compt. rend. 92, p. 701. 5) Annales de Chem. et de Phys. 24 (5) 1881, p. 275—84 („Le Bolomètre par le Professeur S. P. Langley“). 6) Beibl. 5, 1881, p. 191. 7) Wiedem. Ann. 22, 1884, pag. 598. 8) Wiedem. Ann. 19, 1883. „Die [illegible]le Absorption der Energie der Sonne.“ 9) Annales de Chem. et de Phys. 1884 (6) T. II, p. 145—176. „Détermination expérimentale [illegible] longueurs d'onde dans le spectre prismatique invisible.“

jener seine interessanten Forschungen über die Wärmeverteilung im Sonnenspektrum an und fand die schon von Draper[1] behauptete Thatsache, dass das Maximum der Wärme im Normalspektrum der Sonne in der Mitte des Gelb liegen müsse. In den letzten Jahren hat das Bolometer dann eine mehr und mehr wachsende Anerkennung und Benutzung — insbesondere für die strahlende Wärme — von Seiten der Physiker gefunden[2].

Das Prinzip des Bolometers stellt sich schliesslich, wenn man zunächst von allen technischen Einrichtungen absieht, im wesentlichen folgendermassen dar:

Wenn die vier Widerstände der bekannten Wheatstone'schen Drahtkombination mit w_1, w_2, w_3 und w_4, der Widerstand im Galvanometer und der Brücke mit w_0 und der Widerstand der vom Elemente kommenden Leitung mit w, ferner die zugehörigen Stromstärken mit i_1, i_2, i_3, i_4, i_0 und i bezeichnet werden, so ergeben sich leicht aus den ebenfalls zur Genüge bekannten Kirchhoff'schen Gesetzen:



$$[1]\quad \begin{aligned} i_1 + i_4 - i_3 &= 0 \\ i_1 + i_3 - i &= 0 \\ i_2 + i - i_1 &= 0 \end{aligned} \qquad [2]\quad \begin{aligned} wi + w_1 i_1 - w_2 i_2 &= E \\ w_4 i_4 + w_2 i_2 - w_0 i_0 &= 0 \\ w_3 i_3 + w_0 i_0 - w_1 i_1 &= 0 \end{aligned}$$

durch Elimination von i_0, i_1, i_2 und Anordnung nach i, i_4, i_3 die Gleichungen:

---

[1] Himmel u. Erde. Februarheft 92. Dr. J. Maurer.

[2] Es wäre hier auch noch das Radiomikrometer von Boys zu erwähnen; doch hat es sich nicht so gut als das Bolometer bewährt. cf. Proceed. 47, p. 480—499, 1890, Beibl. 1890, 14.

$$\begin{array}{lll} (w+w_1+w_2)\,i & -w_2\,i_4 & -w_1\,i_3=E \\ -w_2\,i+(w_4+w_2+w_0)\,i_4 & & -w_0\,i_3=0 \\ -w_1\,i & -w_0\,i_4+(w_3+w_0+w_4)\,i_3=0 & \end{array} \quad [3]$$

woraus, wenn man die Determinante dieses Systems linearer Gleichungen:

$$[4] \quad \begin{vmatrix} w+w_1+w_2 & -w_2 & -w_1 \\ -w_2 & w_4+w_2+w_0 & -w_0 \\ -w_1 & -w_0 & w_3+w_0+w_1 \end{vmatrix}$$

mit Δ_w bezeichnet, für i und i_0 folgende Ausdrücke resultieren:

$$[5] \quad i=\frac{E\cdot\Delta_i}{\Delta_w}, \text{wo: } \Delta_i=\begin{vmatrix} w_4+w_2+w_0 & -w_0 \\ -w_0 & w_3+w_0+w_1 \end{vmatrix}$$

$$[6] \quad i_0=\frac{E}{\Delta_w}(w_1 w_4-w_2 w_3),$$

so dass man schliesslich erhält:

$$[\mathrm{I}] \quad i_0=i\cdot\frac{w_1 w_4-w_2 w_3}{\Delta_i}$$

Die Empfindlichkeit des Galvanometers in der Brücke ist nun bekanntlich bei gegebener Stromstärke i am grössten, wenn alle Zweige gleich grossen Widerstand haben, also wenn:

$$w_1=w_2=w_3=w_4=w_0=W \text{ ist.}$$

Man kann nun zwei Fälle ins Auge fassen:

1. Man verändert durch Temperatur-Erhöhung, beziehentlich -Erniedrigung den Widerstand eines Gitters, z. B. $w_4=W(1+\alpha t)$. Dann geht die Gleichung I, oben, über in:

$$[\mathrm{I}'] \quad i_0'=i\cdot W\cdot\alpha\cdot t\cdot\frac{1}{2W(2+\alpha t)+w_0(4+\alpha t)},$$

und wenn $w_0=W$:

$$i_0'=i\cdot\alpha\cdot t\cdot\frac{1}{8+3\alpha t}$$

2. Man setzt zwei gegenüber liegende Zweige w_1 und w_4 der Erwärmung aus; dann wird:

$$[I''] \quad i_0'' = i \cdot W \cdot a \cdot t \cdot \frac{1}{W(2+at)+2w_0},$$

und wenn wieder $w_0 = W$:

$$i_0'' = i \cdot a \cdot t \cdot \frac{1}{4+at}.$$

Demnach ist für konstantes i das Verhältnis der Stromstärken in der Brücke:

$$i_0' : i_0'' = (4+at) : (8+3at), \text{ für } t = o := 1 : 2.$$

Im letzten Falle ist also bei gegebener Intensität i der Effekt am Galvanometer am grössten; man braucht umgekehrt ein kleineres i als bei 1., wenn man denselben Ausschlag wie dort erreichen will. Dies ist bei der vorliegenden Untersuchung um so wichtiger, als durch den Strom selbst so wenig Wärme als möglich in den Gittern entstehen soll.

Dass die Empfindlichkeit der Methode am grössten ist, wenn $W = w_0$ ist, ergiebt sich aus [6]. Die Intensität des Hauptstromes erreicht nämlich ein Maximum für:

$$W = \sqrt{\frac{w \cdot w_0 (4+at)}{4+3at}},$$

woraus sich für den speciellen Fall $w_0 = w$ und $t = 0$ ergiebt:

$$W = w_0.$$

Mit Rücksicht auf das in I'' erhaltene Resultat wurden **2** Zweige der Erwärmung ausgesetzt.

Es handelte sich dann noch darum, die Anordnung bezüglich der Grössen W, i und a so zu treffen, dass i_0 ein Maximum erreichte. Dies kann auf folgende Weise bewirkt werden:

1. Der Hauptstrom i werde ein Maximum.
2. W werde möglichst gross,
3. a ebenfalls.

Ferner mussten die Widerstände der einzelnen 4 Zweige und des Galvanometers möglichst gleich gemacht werden.

Um der Bedingung 3. zu genügen, kommt es darauf

an, eine Drahtsorte zu wählen, die einen möglichst grossen Temperaturkoeffizienten besitzt und ausserdem so beschaffen ist, dass das Produkt aus diesem und dem spezifischen Widerstand einen möglichst grossen Wert liefert.

Man muss infolgedessen, da geringe Verunreinigungen des Metalles eine verhältnismässig grosse Veränderung von α nach sich ziehen können, stets den Draht, bevor man ihn endgültig zur Benutzung wählt, in Bezug auf diese Grösse untersuchen. Die Messungen in diesem Sinne wurden von mir im Februar und im August 1892 vorgenommen und zwar beim Eisen in dem Intervalle von 0^0 bis 100^0, beim Platin und Kupfer allerdings nur von 21^0 bis 100^0, da wegen der zur Zeit der Beobachtung (26.—28. August) herrschenden hohen Temperatur (ca. $28{,}5^0$ C.) eine niedrigere Temperatur bei der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit nicht zu erreichen war. Jedoch wurde in allen Fällen die bereits von früheren Experimentatoren konstatierte wichtige Thatsache bemerkt, dass die Ruhelage des Galvanometers (bezw. dessen Endstellung) stets eher eintrat (etwa 10—30″ früher), bevor das Thermometer seinen höchsten Stand erreicht hatte, bis zu welchem Punkte die Stellung der Galvanometernadel konstant blieb. Hinsichtlich der Versuchsanordnung sei hier das Folgende erwähnt. Der zu untersuchende Draht wurde auf einem Gitter von 10×5 cm Grösse isoliert aufgespannt und als Zweig in eine Wheatstone'sche Brückenkombination eingeschaltet. Der Rahmen wurde in ein seinen Dimensionen entsprechendes Glasgefäss gebracht und die sehr dicken, gleich langen Zuleitungsdrähte durch den das letztere schliessenden Kork geführt, der auch noch eine Öffnung für das Thermometer trug[1]. Der so hergerichtete Behälter wurde mit einem zweiten weiteren umgeben, in welchen das Bad gegossen wurde.

[1] Die Birne des Thermometers befand sich mit dem Gitter in gleicher Höhe und diesem möglichst nahe.

Für niedere Temperaturen wurden Kältemischungen aus Salmiak und Kochsalz hergestellt, für Temperaturen über 100° dem Wasser Salze hinzugefügt. Die übrigen Teile der Stromverzweigung wurden auf möglichst konstante Temperatur erhalten und der Schleifkontakt überhaupt nur durch Anfassen mit Handschuhen verschoben. Auch wurde darauf gesehen, dass der Kontakt möglichst in der Mitte des Messdrahtes blieb, was durch dem entsprechendes Stöpselziehen bewerkstelligt wurde. Die Stromstärke im Brückenzweige wurde an einem Spiegelgalvanometer beobachtet, und es dienten als Stromquelle gewöhnlich 1 bis 2 Leclanché-Elemente. Die Angaben des hunderttheiligen Thermometers wurden wegen des heraushängenden Fadens korrigiert; auch wurde vor jeder Versuchsreihe die Lage des Nullpunktes abgelesen, indem das Thermometer in ein Gefäss mit gestossenem Eise gesetzt wurde. Die aus den Beobachtungsreihen nach der Methode der kleinsten Quadrate gefundenen Formeln stimmten recht gut mit den ersteren überein. Es wurde gefunden für: **1. Kupfer:** Drahtdicke = 0,10 mm.

Tabelle II.

Korrig. Temp.	w beoabachtet	w berechnet	Δ Abweichung	Δ^2
35,5	2,288	2,292	+ 0,004	$0,0_4 16$
54,3	2,424	2,432	+ 0,008	$0,0_4 64$
55	2,430	2,437	+ 0,007	$0,0_4 49$
69,7	2,550	2,547	— 0,003	$0,0_4 09$
79,2	2,622	2,615	— 0,007	$0,0_4 49$
89,2	2,697	2,693	— 0,004	$0,0_4 16$
96,2	2,754	2,745	— 0,009	$0,0_4 81$
				$\Sigma\Delta^2 = 0,0_3 284$

Wenn m die Zahl der zu bestimmenden Konstanten und n die der Beobachtungen ist, so hat man bekanntlich für den sogenannten mittleren Beobachtungsfehler und mithin im vorliegenden Falle:

$$\pm\sqrt{\frac{\overline{\Delta_1^2}+\overline{\Delta_2^2}+\cdots}{n-m}}=\pm\sqrt{\frac{\overline{0{,}000284}}{7-2}}=\pm 0{,}0075.$$

Es ergiebt sich dann für Kupfer die Formel:

$$w_t=w_0(1+0{,}00319\cdot t)^1.$$

Auf ähnliche Weise wurden die Formeln für Eisen und Platin aufgestellt und erhalten:

2. **Eisen:** $w^t=w_0(1+0{,}004092\,t)$, nach Arndtsen: $1+0{,}0041304t+0{,}00052713\,t^2$.
3. **Platin:** $w_t=w_0(1+0{,}002075\cdot t)$ nach Arndtsen: $\alpha=0{,}0032724$.

Es erweist sich also Eisen hinsichtlich seines Tempeturkoeffizienten als ein durchaus vorzügliches Material, und es ist auch neuerdings wieder sehr in Aufnahme gekommen. Ich musste leider die Versuche mit dieser Drahtsorte einstellen, da die mir zur Verfügung stehende zu dick war. Bei einer Stromstärke von 0,003 Amp. gab ein Skalenteil eine Temperaturerhöhung um $0{,}0055^0$ C. an. Noch besser arbeitete das aus Kupfer hergestellte Bolometer, welches bei 0,005 Amp. eine Temperaturerhöhung von $0{,}0018^0$ pro Skalenteil anzeigte. Dasselbe wurde unter anderm auch zur Bestimmung der Molekulargrösse nach der Raoult'schen Gefrierpunktsmethode benutzt und ein solcher Versuch auch von dem Herrn Dr. phil. K. Schreber[2], dem damaligen 1. Assistenten am hiesigen physikalischen Institute, mit dem von mir diesem Herrn zu dem Zwecke überlassenen Apparate in der Versammlung der Naturforschenden Gesellschaft zu Rostock am 24. Juni 1892 demonstriert. — Die eigentlichen Versuche über die spezifische Wärme des Wassers wurden mit dem Bolometer Nr. III (Platin) ausgeführt. Der angewendete

[1] Nach Arndtsen (Pogg. Ann. 104, 1858, p. 56): $\alpha = 0{,}0036889$ u. $= 0{,}00394025$.

[2] Auch diesem Herrn, bis Ostern 1892 1. Assistent am hiesigen physikal. Institut, jetzt Privatdozent in Greifswald, möchte ich meinen besten Dank aussprechen für die mannigfache Anregung, welche er mir zu Anfang meiner prakt.-physikal. Studien zu teil werden liess.

Platindraht hatte eine Dicke von 0,056 mm und war von der Firma W. C. Heraeus-Hanau a./M. bezogen worden. Es war nun aber ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass die nicht ganz zu vermeidenden Verbindungsdrähte zwischen den einzelnen Zweigen zunächst alle gleich lang und dann aus einem genügend dicken Drahte hergestellt wurden. Auch musste dieser gegen Temperaturvariationen äusserst indifferent sein; eine solche Drahtsorte fand sich in dem Manganindrahte von Mixt und Genest-Berlin. Dieser wurde im Sommer 1892 auf seinen Temperaturkoeffizienten hin untersucht, und ergab sich für diesen in dem Intervalle von 0° bis 100° nahezu der Wert 0[1]. Für einige Bolometer wurden daher auch die auf konstante Temperatur zu erhaltenden Zweige aus besponnenem Manganindrahte von 0,09 mm Dicke verfertigt.

Bevor ich aber der Beschreibung der Einzelheiten des von mir konstruierten Bolometers oder besser „galvanischen Differentialthermometers“ näher trete, sei es mir gestattet, hier einige Bemerkungen an die bisher gemachten Untersuchungen zu knüpfen:

Welches Metall sich für bolometrische Messungen am besten eigne, darüber hat man bislang noch keine endgültige Entscheidung treffen können. Es sind daher von den einen diese Substanzen, von den anderen wieder jene bevorzugt worden. Jedenfalls aber sind hauptsächlich nur Kupfer, Stanniol, Eisen und Platin zur Verwendung ge-

[1] Dieser Manganindraht ist denn auch schon mit Vorteil zur Herstellung der Widerstandsrollen der Stöpselrheostaten von Dr. Edelmann-München benutzt worden. Man sehe auch: Milthaler, „Über die Verwendung des Manganins zu Widerstandsrollen“. Wiedem. Ann. 46, pag. 297, 1892, und eine Bemerkung hierzu: Wiedem. Ann. 52, pag. 67—74, 1894; ferner den Vortrag des Herrn Dr. K. Feussner: „Neue Materialien für elektrische Messwiderstände“, abgedruckt in dem „Bericht über die Verhandlungen der Sektions-Sitzungen des internationalen Elektrotechniker-Kongresses zu Frankfurt a. M. i. J. 1891“, pag. 94—103, wo auch noch einer anderen passenden Legierung, des sogenannten „Konstantans“, Erwähnung geschieht, pag. 97.

kommen. Ebenso wenig ist man sich über die Grössenverhältnisse der Widerstände der einzelnen Zweige, sowie über die am besten anwendbaren Stromstärken einig, wenn auch diese Faktoren wohl für immer mancherlei Veränderungen unterliegen müssen, je nach dem Zwecke, dem die betreffenden Instrumente dienen sollen. Es schien mir aus diesem Grunde nicht ohne Interesse, eine Zusammenstellung hinsichtlich der berührten Punkte aus den Arbeiten der verschiedenen Beobachter zu machen, soweit erstere mir zur Verfügung standen, und es ist dies in Tabelle III, pag. 24—25, geschehen. Doch konnte diese leider nicht so vollständig ausfallen, wie wohl zu wünschen gewesen wäre, da in manchen Abhandlungen bedauerlicherweise die Angaben der Konstanten entweder gar nicht vorhanden oder doch sehr mangelhaft sind. In den Tabellen giebt die Spalte I das Bolometermaterial, II die Drahtdicke in mm, soweit diese angegeben, III den Temperaturkoeffizienten der betreffenden Substanz, IV den Widerstand eines Zweiges in Ω, V die Stromintensität in Amp., wo nicht anders angegeben, VI den Widerstand bes Galvanometers in Ω, VII die Zahl der der Erwärmung ausgesetzten Gitter, VIII die Zeit der Einstellung der Nadel, IX die einem mm der Skala entsprechende Temperaturerhöhung in Celsiusgraden. Ausserdem ist den Namen der Autoren das Jahr hinzugefügt worden, in dem die Arbeit ausgeführt wurde. Man kann aus diesen Zahlenangaben der Tabelle annähernd die einen Skalenteil entsprechende Temperaturerhöhung für 0,200 Amp. Stromstärke berechnen, und es sind, soweit die Daten zur Berechnung bekannt sind, die Resultate in einer besonderen Tabelle zusammengestellt worden[1]. Danach ist das von Paschen hergestellte bei weitem das empfindlichste, was für meine Messungen jedoch garnicht in Betracht kommen kann, da diese sich auf einem ganz anderen Felde als die Paschens bewegen.

[1] vide Tab. 4, pag. 26.

Tabelle IIIa.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
1. Svanberg (1851)	Kupfer	0,21					1		Man sehe die Formel in der Abhandlung.
2. Langley (1880)		0,02	—		0,25 Weber	—	1	—	0,00010
3. Baur[1] (1883)	Stanniol	—	—	3,330	1 Daniell	—	1	5—10″	Das Galvanometer zeigte einen Ausschlag von etwa 400 mm an, wenn man dem einen Blättchen die berusste Seite eines auf 100° C erwärmten Leslie'schen Würfels in 1 m Entf. näherte[6].
4. Schneebeli[2] (1884)	Stanniol	—	—	—	1 Daniell	—	1	10″	1 mm Verschiebung auf dem Messdraht gab mehrere 100 Scalenteile Ausschlag[7].
5. Angström[3] (1885)	Stanniol	—	—	14	2 Daniell	12	1 (? 2)	5″	1 Skalent. = Wärmezufuhr v. 0,000 033 36 g Kal. per Minute u. qcm.
6. Masje[4] (1887)	Stanniol	—	—	4,071	2 Daniell		1	9′ resp. 15′	Eine Verschiebung auf dem Messdraht um 1 mm = ca. 200 Skalenteile Ausschlag.
7a. Paalzow und	Platin	0,03	—	3,900	1 Daniell 1,14 Volt.	6,500	1	—	Bei 0,002 Amp. (also bei Einschaltung von ca. 600 Ω) ca. **12** Skalenteile Ausschlag[8].
7b. Rubens[5] (1889)	Eisen	0,035	—	2,850	1 Daniell = 1,14 Volt.	6,500	1	—	Bei 0,002 Amp. ca. **24,5** Skalenteile Ausschlag[9].

[1] Wiedem. Ann. 19, 1883, p. 12 ff.
[2] Wiedem. Ann. 22. 1884, p. 430 ff.: „Untersuchungen im Gebiete der strahlenden Wärme".
[3] Wiedem. Ann. 26, 1885, p. 253 ff.: „Über die Diffusion der strahlenden Wärme von ebenen Flächen".
[4] Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie von Rud. Virchow. 107, 1887, p. 17 ff.
[5] Wiedem. Ann. 37, 1889: „Anwendung des bolometrischen Principes auf elektrische Messungen". (pag. 529—39.)
[6] Bolometer nach Dr. C. Baur werden in der mechan. Werkstatt von Ferdinand Ernecke-Berlin hergestellt, nur mit dem Unterschiede, dass statt Stanniolstreifen Spiralen aus Kupferdraht verwendet werden, welche nach der Ansicht der Verfertiger den Vorzug grösserer Empfindlichkeit haben sollen, was wohl nicht ohne weiteres angenommen werden kann.
[7] Die Angabe über die Empfindlichkeit des Instrumentes ist also recht ungenau.
[8] Von der Firma F. Schmidt & Haensch-Berlin sind einige Apparate dieser Art hergestellt worden.
[9] Das Eisen bewährte sich also auch in diesem Falle besser als Platin. Man sehe pag. 21 dieser Abhandlung.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	
8. J. Gill[1] (1889)	Kupfer	0,250	—	1,075	0,200	1,297	1	15″	0,0018	
9. Rubens[2] (1889)	Stanniol	0,01	—	5,200	0,200	5,000	1	*	0,0002	* Es wurden 8 Wechselbeobachtungen in 5 Min. gemacht.
10. Rubens u. Ritter[3] (1890)	Eisen	0,035	0,0051	2,890	0,150	5,000	1		0,000028	
11. Rubens[4] (1891)	Eisen	0,023	0,00603	?	?	?	1		gewöhnlich: 0,0001	Zuweilen auf 0,00003° gesteigert, hätte noch um das 5 fache übertroff. w. k.
12. Lummer u. Kurlbaum[5] (1892)	Platinsilberblech	0,00083	$b = 1$mm $d = 1\,\mu$	60	0,006 (Max.0,04)	20	2	4″	0,000361	Wärmequelle: Glühlampe = 4 Hefnerlichter in 1 m Entf.
13. Callendar[6] (1892)	Platin	0,075	—	—	0,01		1		Die Temperatur wird durch Widerstandsmessung direkt bestimmt.	
14. Paschen[7] (1893)	Platinsilberblech	0,001	$b = 0{,}25$mm $d = 0{,}5\,\mu$	12	0,038 bis 0,04	20	1	3″ r. 4″	0,000001 für gewöhnlich	Temperaturausgleich in 2″.
15. Brüsch (1892)	Eisen	0,190	0,004092	0,887	0,003	0,566	2	6″	0,0055	Ferner (mir nicht zugängl.): W. H. Julius, Bolometrisch onderzock etc., Verh. k. Ac. van Wetenschappen te Amsterdam 1892. 49 p (Beibl. 6, 1892, p [56] unt. d. Rubrik „Separatabzug" angegeb.)
16. Brüsch (1892)	Kupfer	0,100	0,00319	2,170	0,005	0,566	2	5″ r. 7″	0,0018	
17. Brüsch (1892)	Platin	0,056	0,002075	220	0,005	220	2	2″	0,01	

[1] Inaug.-Diss. Greifswald 1889 u. Wiedem. Ann. 40, 1890, p. 115: „Über Wärmewirkungen der elektrischen Ströme an der Grenze von Metallen und Flüssigkeiten".

[2] Wiedem. Ann. 37, 1889: „Die selektive Reflexion der Metalle".

[3] Wiedem. Ann. 40, 1890, p. 54: „Über das Verhalten von Drahtgittern gegen elektrische Schwingungen".

[4] Wiedem. Ann. 42, 1891, p. 154 ff.: „Über stehende elektrische Wellen in Drähten und deren Messung".

[5] Zeitschrift für Instrumentenkunde 1892, 3. (Bericht der physikalisch-technischen Reichsanstalt; cf. auch: Wiedem. Ann. 46, 1892, p. 204—224. Dasselbe Instrument ist in neuester Zeit verwendet worden bei den „Bolometrischen Untersuchungen für eine Lichteinheit" von O. Lummer und F. Kurlbaum. Sitzungsber. der königl. pr. Acad. der Wisschensch. 1894, XI., p. 229—238.)

[6] Philosophical Magazine V., **32**, p. 104—113, 1891. **33**, 1892, p. 220—228.) Das Instrument wird „Platinthermometer" benannt.

[7] Wiedem. Ann. 48, 1893, p. 274 ff. u. ibid. 49, 1893, p. 50 ff., neuerdings: ibid. 53, 1894, p. 287—342.

Tabelle IV.

	Substanz	Widerstand	°C. pro Skalenteil
Gill (1889)	Kupfer	1,075	0,0018
Rubens (1889)	Stanniol	5,200	0,0002
Rubens u. Ritter (1890)	Eisen	2,890	0,000021
Paschen-Hannover (1893)	Platin-Silberblech	12	0,00000019
Brüsch (1892)	Eisen	0,887	0,0000825
Brüsch (1892)	Kupfer	2,170	0,000045
Brüsch (1892)	Platin	220	0,00025

Dieser hat besonders dadurch die grosse Feinheit seines Bolometers erzielt, dass er das zur Verwendung kommende Galvanometer bedeutend bezüglich seiner Empfindlichkeit verbesserte[1]. Es scheinen auch nur noch auf diesem Wege Verfeinerungen der Methode möglich zu sein, wie Paschen ganz richtig bemerkt[2]. Im vorliegenden Falle war das Galvanometer gegeben und genügte dieses für den beabsichtigten Zweck vollständig.

Für die Wärmestrahlung ist ferner auch das Platin-Silberblech, wie es von den Herren Lummer und Kurlbaum zuerst präpariert worden ist, als Bolometermaterial sehr vorteilhaft, da es den Vorzug einer grösseren Oberfläche als Draht bei gleicher Masse hat. Auch Herr Dr. Paschen hat es mit Erfolg bei seinen Untersuchungen über die Emission glühenden Platins benutzt. Das Stanniol ist jedenfalls zu verwerfen und wird auch jetzt gar nicht mehr gebraucht.

[1] Zeitschrift für Instrumentenkunde. Jan. 1893, pag. 13—17.

[2] Ann. d. Phys. 48, 1893, pag. 279. Verf. hatte im Herbst 1893 selbst Gelegenheit, sich persönlich von der hohen Empfindlichkeit des von Dr. Paschen konstruierten Instrumentes zu überzeugen.

Bei der Konstruktion des Bolometers wurde nun folgendermassen verfahren:

1. Die Herstellung des Bolometers.

Es wurden zunächst 6 Gitter aus Platindraht von 0,056 mm Dicke in der Weise hergestellt, dass der Draht auf aus Knochenmasse ausgesägten Rahmen von 20 mm Breite und 50 mm Länge isoliert und gleichmässig aufgewickelt wurde, was bei der Feinheit des Materials nicht ohne einige Schwierigkeit und Vorsicht geschehen musste. Bei früheren Instrumenten hatte ich auch die Drähte vorher mit in Chloroform aufgelöster Guttapercha zwecks besserer Isolierung bestrichen; doch bin ich von dieser Operation zurückgekommen, da doch wohl keine Leitung des Stromes durch das Wasser bei so kleiner Intensität, wie der zur Anwendung kommenden, zu befürchten ist[1]. An das eine Ende eines jeden Gitters wurde dann ein Manganindraht von ca. 10 cm Länge in passender Weise angelötet. Bei einer korrigierten Zimmertemperatur von 23,8 bis 24° C. wurden für die 6 Gitter folgende Widerstände in Ohm gefunden[2]:

---

[1] Verf. glaubte, sich durch specielle Versuche davon überzeugen zu müssen, dass in der That keine Leitung stattfindet, und es wurde dies auch durch die angestellten Beobachtungen bestätigt. Im übrigen ist ja auch durch die Arbeiten von F. Kohlrausch (Wiedem. Ann. 24, 48, 1885; Pogg. Ann., Ergänzungsband, 8, 1, 1876; Wiedem. Ann. 26, 201, 1885), Ostwald, Pfeiffer u. a. bis zur Evidenz nachgewiesen, dass Wasser ein äusserst schlechter Leiter der Elektrizität ist. Man sehe auch: G. Wiedemann, „Die Lehre v. d. Elektrizität", 2. Aufl. 1893, I, pag. 575—78; ferner hinsichtlich „reinen" Wassers die neuerdings erschienene Abhandlung v. F. Kohlrausch u. A. Heydweiller, Berl. Sitz.-Ber. XVI, 1894, pag. 295—308. Anders würde allerdings die Sache sein, wenn z. B. Temperaturmessungen in Salzlösungen vorgenommen werden sollen.

[2] Alle Bestimmungen sind stets mit einem Spiegelgalvanometer von Edelmann und einem Daniell-Element als Stromquelle gemacht worden, um die Resultate so genau als möglich zu machen. Man sehe auch pag. 36—38.

Nr. 1 220,500,
Nr. 2 220,275,
Nr. 3 218,900,
Nr. 4 220,275,
Nr. 5 221,625,
Nr. 6 220,275.

Von diesen wurden Nr. 1, 2, 4 und 6 zum Bolometer Nr. I vereinigt, nachdem alle Zweige hinreichend auf 220 Ω abgeglichen waren. Nr. 3 und Nr. 5 wurden jedes gleich 218 Ω gemacht und bildeten mit entsprechend grossen Zweigen aus Manganindraht (Dicke 0,09 mm) das Bolometer Nr. II.

Es mag übrigens hier bemerkt werden, dass ich es für vorteilhaft hielt, die ganze Drahtkombination eines jeden galvanischen Differentialthermometers erst ohne allen sonstigen Zubehör zusammenzustellen und so alle Zweige vollständig gleich zu machen, wobei besonders auf Konstanz der Temperatur während des ganzen Verlaufes der Messung gesehen werden musste. Ausserdem wurde ein stärkerer Strom angewendet als bei den Versuchen selbst, um die Ausschläge der Galvanometernadel möglichst bemerkbar zu machen. Dann erst wurden die so verfertigten Thermometer in die dazu von mir besonders konstruierten Kästen gebracht.

Diese haben vorläufig die folgende Einrichtung erhalten[1]:

Das Kalorimeter A (Fig. 1)[2] umschliesst die der Erwärmung auszusetzenden Zweige w_3 und w_2 (Fig. 6), von denen 4 gleich lange Manganindrähte von 0,59 mm Dicke zu den Schraubenpaaren J' und J'' führen (vide auch Fig 2 und 4). Von diesen gehen 4 ebenfalls vollständig gleich lange Manganindrähte von 2 mm Dicke in Nuten zu besserem Schutze gegen Wärmeeinflüsse zwischen zwei

[1] vide Tafel II, Fig. 1, 2, 3, 4 und 6, pag. 32.

[2] Dimensionen: Nr. I 152,9 mm Höhe und 34,1 mm Durchmesser.
Nr. II 152,6 mm „ „ 34,15 mm „

je 1 cm dicken Brettern zu dem unteren Raume D, der durch zwei je 1 cm dicke Bretter von dem oberen (L) getrennt wird. Die Anordnung in D ist aus Fig. 3 ersichtlich. Von den Verzweigungspunkten I, II, III und IV gehen 0,59 mm dicke Manganindräthe, welche noch mit Guttapercha und seidenem Zeuge umwickelt sind, durch einen als Deckel dienenden Kork zum inneren Gefässe F[1], in welchem sich, durch Bälkchen aus Knochenmasse von einander getrennt, die auf konstante Temperatur zu erhaltenden Gitter w_1 und w_1 befinden. Das Kesselchen F ist aus dünnem Zinkblech verfertigt, innen mit Seide ausgekleidet und wird von einem weiteren, aus demselben Material gebildeten Kessel E[2] umschlossen, zu welchem zwei Rohre G und H führen, die zum Einbringen des Bades von konstanter Temperatur in E dienen. Von den Verzweigungspunkten I und II (Fig. 3) führen Drähte zu den Schrauben K' und K'', welche mit dem Galvanometer in Verbindung gesetzt werden. Ebenso sind die Punkte III und IV mit K''' und K'''' verbunden, welche zum Einleiten des Stromes dienen.

Das Kalorimeter A wird in der aus Fig. 1 ersichtlichen Weise durch Korken geschlossen, welche noch mit Negativlack zum Schutze gegen Aufsaugen von Feuchtigkeit bestrichen sind. [In der Figur ist ausserdem ein das kleinere A umschliessendes Kalorimeter B gezeichnet, welches durch ein Glasrohr, das bis auf den Boden geht, und einen Schlauch mit dem aussen befindlichen Gefässe C in Verbindung gesetzt wird. Diese Vorrichtung sollte bei der Bestimmung der Molekulargrösse nach der Raoult'schen Gefrierpunktsmethode[3] dazu dienen, durch ein in B zu

[1] Dimensionen: $4 \times 4 \times 2$ cm.

[2] „ $6 \times 6 \times 3$ cm.

[3] Man sehe hierüber: Bauke „Die Raoult'sche Gefriermethode für die Molekulargewichtsbestimmung und ihr Nutzen für die chemische Forschung". (Preisarbeit der Berliner Universität 1890); ferner Raoult: „Bestimmung des Gefrierpunktes sehr verdünnter wässeriger Lösungen", C. R. 114, pag. 268—71, 1892, Beibl. 1892, (6), pag. 334, Nr. 23.

bringendes, geeignetes Bad die Temperatur in *A* zu erniedrigen. An dem Stande der Flüssigkeit in *C* kann auf den in *B* geschlossen werden, und ist zu dem Zwecke neben *C* eine Höhenskala angebracht worden. Für die in dieser Arbeit zu besprechenden Versuche war diese Anordnung im allgemeinen nicht nötig.] Alle durch Gefässe, Drähte etc. nicht eingenommenen Räume in *D* und *L* sind mit Watte ausgefüllt und der Kessel *E* sowie die zu diesem führenden Rohre *G* und *H* noch besonders mit mehreren Schichten aus Guttapercha und weissem Seidenzeuge bekleidet. Der ganze Apparat, wie er in Fig. 4 perspektivisch dargestellt wird, ist weiss angestrichen zum Schutze gegen Wärmestrahlung. Zuweilen, wenn die Temperaturen im Apparat sich bedeutend von der des Zimmers unterschieden, wurde jener noch in einen zweiten, ebenfalls mit Watte ausgeschlagenen Kasten gesetzt, welcher einen Deckel trug, der nur eine kleine Öffnung für den Verschluss *V* hatte (Fig. 1, 2 und 4). Doch erwies sich diese Vorsichtsmassregel fast immer als überflüssig, da die Isolierung schon ohnehin genügend war.

2. Die Aichung des galvanischen Differentialthermometers.

Es war nun zunächst die Aufgabe zu lösen, das Instrument in seinen Angaben bei Anwendung einer bestimmten, in Ampers[1] gemessenen Stromstärke mit einem in Celsiusgrade geteilten Normalthermometer zu vergleichen. Von der Festlegung einer fixen Scala kann natürlich hierbei nicht die Rede sein, sondern es ist das Bolometer gewissermassen als ein „Thermometer mit veränderlichem Nullpunkte“ zu betrachten. Es werden nämlich die auf konstante Temperatur zu erhaltenden

[1] Verfasser eignet sich hier die Schreibweise an, wie sie in den „Vorschlägen zu gesetzlichen Bestimmungen über elektrische Masseinheiten“ (Beiheft zur „Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1893, pag. 8) durchgeführt worden ist.

Gitter in F (Fig. 1 und 3) anfangs auf 0^0 gebracht, indem E fortwährend mit Eis gefüllt gehalten wird. Man kann dann, nach zuvoriger Aichung des Instrumentes, mit diesem Temperaturmessungen von 0^0 abwärts und aufwärts vornehmen, und zwar ist der Bereich der Messung durch die Empfindlichkeit bestimmt, auf die man durch dementsprechende Wahl der Stromstärke eingestellt hat. Will man dann noch höhere Temperaturen messen, so wird man die Gitter in F entweder auf eine geeignete konstante Temperatur bringen oder die Empfindlichkeit herabmindern müssen. Welcher von beiden Wegen einzuschlagen ist, darüber muss der jedesmalige Zweck, dem die Messung dienen soll, entscheiden. Bei allen bisherigen Versuchen ist immer nur der letzte gewählt worden, was in der Natur der Sache liegt.

Das Vergleichsthermometer[1] war in Fünftelgrade[2] geteilt und hatte folgende Dimensionen:

Länge eines Grades: . . . . 3,8 mm.
Länge des Gefässes: . . . . 43,0 mm,
Mitte des Gefässes bis 0^0: . 69,2 mm,
Mitte des Gefässes bis 100^0: 453,4 mm.

Die Fundamentalpunkte mussten zunächst bestimmt werden, und es geschah dies in der Weise, dass abwechselnd in schnellster Aufeinanderfolge Gefrierpunkt und Siedepunkt beobachtet wurden.

Zur Feststellung des Siedepunktes bediente ich mich eines im hiesigen physikalischen Institute zu thermobarometrischen Höhenmessungen benutzten Siedeapparates[3].

[1] Es war dies ein Stabthermometer. Dessen Vorzüge vor anderen sind jetzt wohl allgemein anerkannt.

[2] Doch konnten noch recht gut Zwanzigstelgrade abgeschätzt werden, da die Ablesung immer mit einem Fernrohre vorgenommen wurde.

[3] Einen ähnlichen, nach Angabe des Herrn Prof. Pernet construirten Siedeapparat, verwendete auch Dr. Scheel-Rostock für seine Siedepunktsbestimmungen. (Inaug.-Diss. Berlin. 1890. „Die Ausdehnung des Wassers mit der Temperatur".)

Der Siedekessel hatte eine Höhe von 5,8 cm und 7,2 cm im Durchmesser. Auf diesem befand sich ein doppelter Messingmantel von 13 cm Höhe und 4,95 (2,7) cm Durchmesser. Um eine Korrektion wegen des heraushängenden Fadens zu vermeiden, wurde eine Glasröhre von 32,3 cm Höhe und 3,7 cm Durchmesser vermittelst eines fest anschliessenden Korkes aufgesetzt und oben durch einen Kork geschlossen, welcher nur eine Öffnung zur Durchführung des Thermometers trug. Die Angaben des natürlich etwas über dem siedenden Wasser befindlichen Thermometers wurden durch die Glasröhre hindurch mit einem Fernrohr abgelesen. Mit dem Innern des Apparates wurde zwecks Bestimmung der Spannung des Dampfes ein Quecksilbermanometer in Verbindung gesetzt, dessen Stand ebenfalls durch ein Fernrohr kontrolliert wurde. Um eine Kondensation des Wasserdampfes in dem zum Manometer führenden, etwa 10 cm langen Rohre zu vermeiden, wurde dieses während der Dauer der Messung mit in siedende Flüssigkeit getauchter Leinewand umwickelt oder auch nötigen Falls diese noch mit ersterer befeuchtet.

Der Apparat zur Auffindung des Eispunktes war aus Kupfer gearbeitet und mit dickem Filz umgeben. Er wurde entweder mit reinem Schnee oder mit fein geschabtem Eise gefüllt. Um dem Eiswasser Abfluss zu verschaffen, wurde ein am Gefäss befindlicher Hahn teilweise geöffnet. Das Thermometer wurde so weit eingesenkt, dass der Meniskus des Quecksilbers eben noch über den Rand des Apparates hervorragte; der Stand wurde ebenfalls mit einem Fernrohre abgelesen.

Im Nachstehenden sind die Resultate wiedergegeben, wobei bemerkt werden mag, dass die Angabe des Manometers in Millimetern mit dem jedesmaligen auf 0^0 reduzierten Barometerstande[1] zum „Gesamtdruck“ zu-

[1] Dem Umstand, dass das Barometer sich im Erdgeschoss (Auditorium) befand, während die Beobachtungen in dem 5 m höher gelegenen 1. Stock angestellt wurden, wurde dadurch Rechnung getragen, dass von dem Barometerstande 0,5 mm abgezogen wurden.

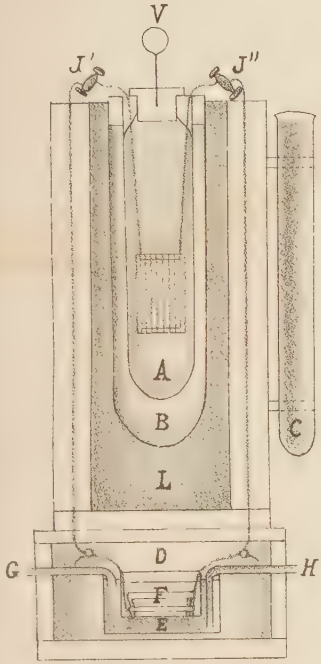


Fig. 1.

Fig. 4.

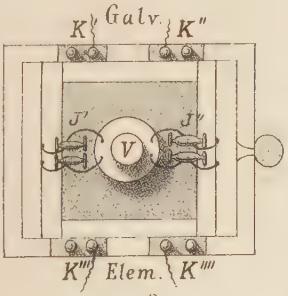


Fig. 2.

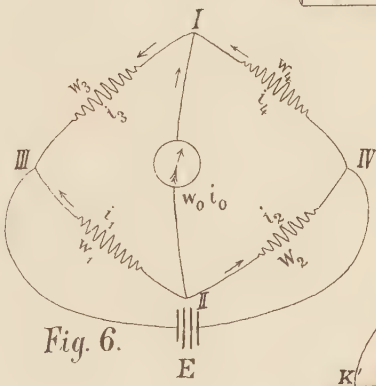


Fig. 6.

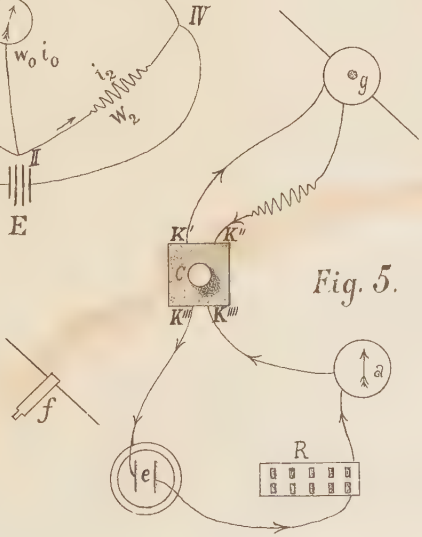


Fig. 5.

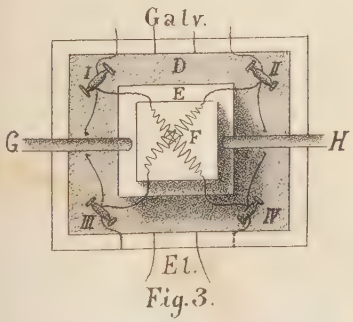


Fig. 3.

1. Senkrechter Durchschnitt.

2. Von oben gesehen.

3. Von unten gesehen (nach Entfernung des Bodens).

5. Versuchs-Anordnung.

Hof-Stdr. v. Tiedemann Nachf. Rostock.

sammengezogen worden ist. Der dem Drucke entsprechende Siedepunkt wurde aus der von Kohlrausch in seiner „Praktischen Physik“ angegebenen Tabelle gefunden.

Tabelle V.

Beobachteter Druck.	Beobachteter Siedepunkt.	Dem Druck entsprechender Siedepunkt.	Wahrer Siedepunkt.	Eispunkt.
776,460	101,40	100,6450	100,7730	0,40
772,460	101,20	101,2176	100,7450	0,40
776,960	101,40	100,6200	100,7976	0,40
776,460	101,35	100,6000	100,7676	0,40
772,550	101,30	100,4600	100,8450	0,40
759,969	100,72	100,0000	100,7200	0,40
			Mittel: 100,775	

Was nun die eigentliche Kalibrierung des Thermometers anbelangt, so sind ja sehr feine, aber auch zu gleicher Zeit in der Rechnung weitläufige Methoden angegeben worden, so namentlich von Dr. M. Thiesen[1] und W. J. Marek[2]; doch habe ich von der anfangs beabsichtigten Anwendung irgend eines dieser beiden Verfahren schliesslich abgesehen, da das Thermometer nur in dem geringen Intervalle von 0^0—4^0 zum Vergleichen mit den Angaben des Bolometers gebraucht werden sollte. Ich verfuhr in der folgenden, wohl allgemein üblichen Weise:

Es sollte ein genau von 0^0—5^0 gehender Quecksilberfaden abgetrennt werden[3], was nach mehreren Versuchen

[1] „Über das Kalibrieren von Thermometern“ von Dr. M. Thiesen. Carl's Repertorium für physikal. Technik, 15, pag. 285—299 (1879).

[2] „Über die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf die Kalibrierung der Thermometer“ von W. J. Marek, ibid. pag. 300—319.

[3] Damit der Quecksilberfaden den Raum von 0^0—5^0 einnehmen konnte, musste sich die übrige Quecksilbermasse mehrere Grade unter 0^0 befinden. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Kugel mit in Äther getauchter Leinewand umwickelt wurde; der Aether wurde durch Anblasen zum möglichst schnellen Verdunsten gebracht.

auch gelang. Die Länge dieses Fadens wurde dann vermittelst eines Ablesemikroskopes von 5° zu 5° durch die ganze Thermometerskala von 0° bis 100° hindurch gemessen. Um einer verschiedenen Erwärmung des Thermometerrohres durch etwaiges Berühren mit der Hand und daraus entstehenden Ungenauigkeiten in der Ablesung vorzubeugen, wurden die beiden Enden des Thermometers in Pappscheiben von Quadratform gesteckt, welche so gewissermassen ein Stativ bildeten. Nur durch Anfassen dieser Pappen wurde das Instrument geneigt und so der Faden verschoben. Die Werte sind in der folgenden Tabelle VI, pag. 35, zusammengestellt worden. Hieraus sind dann die Korrektionen von 5° zu 5° berechnet worden; sie bilden die Tabelle VII. Für dazwischen liegende Temperaturen wurde mit Hülfe der Tafel VII eine Kurve konstruiert und aus ihr der gewünschte Wert entnommen.

Nun erst konnte die Aichung des galvanischen Differentialthermometers vorgenommen werden. Dazu wurde ein ähnlich wie das pag. 28—30 beschriebene Kalorimeter eingerichteter, nur etwas grösserer Apparat benutzt, in den die ganze Bolometerkombination in der besprochenen Anordnung gebracht wurde. · Das Normalthermometer wurde so eingeführt, dass sich die Quecksilberbirne zwischen den beiden zu erwärmenden Gittern und mit deren Mitte in gleicher Höhe befand. Ausserdem war noch ein flügelförmiger Rührer angebracht, welcher bei jeder Ablesung kräftig bewegt wurde. Die Erwärmung wurde in der Weise bewerkstelligt, dass zu Anfang Eiswasser genommen und dieses durch ein das Gefäss umgebendes Bad (dieselbe Vorrichtung, wie sie Fig 1, Tafel II, zeigt) allmählich auf höhere Temperatur gebracht wurde. Die Stromstärke wurde durch Einschaltung dementsprechender Widerstände[1] auf die kon-

[1] Die Rollen des Widerstandskastens (von Edelmann, München) waren aus Manganindraht hergestellt; es war also ein Schwanken der Stromstärke durch Temperaturveränderung im Innern des Stöpselrheostaten wegen der vorhin besprochenen Eigenschaft des Manganins nahezu ausgeschlossen. Cf. pag. 22.

Tabelle VI.

Grad-Intervall.	Länge des Fadens in Graden ausgedrückt.	Differenz: δ.
0°—5°	0— 5,000	0,000
5°—10°	5—10,140	0,140
10°—15°	10—15,160	0,160
15°—20°	15—20,120	0,120
20°—25°	20—25,160	0,160
25°—30°	25—30,120	0,120
30°—35°	30—35,110	0,110
35°—40°	35—40,150	0,150
40°—45°	40—45,110	0,110
45°—50°	45—50,120	0,120
50°—55°	50—55,140	0,140
55°—60°	55—60,120	0,120
60°—65°	60—65,170	0,170
65°—70°	65—70,160	0,160
70°—75°	70—75,160	0,160
75°—80°	75—80,130	0,130
80°—85°	80—85,160	0,160
85°—90°	85—90,130	0,130
90°—95°	90—95,140	0,140
95°—100°	95—100,150	0,150

Tabelle VII.

Temperatur am Thermometer.	Anzubringende Korrektion.
0°	—0,400
5°	—0,286
10°	—0,312
15°	—0,358
20°	—0,364
25°	—0,410
30°	—0,416
35°	—0,412
40°	—0,448
45°	—0,444
50°	—0,450
55°	—0,476
60°	—0,482
65°	—0,538
70°	—0,584
75°	—0,630
80°	—0,646
85°	—0,692
90°	—0,408
95°	—0,734
100°	—0,770

stante Grösse 0,005 Amp. erhalten, was an einem in den Stromkreis eingeschalteten Ampermeter von Edelmann[1] beständig kontrolliert werden konnte. Die Resultate giebt die nachstehende Tabelle an:

[1] Das Ampermeter ist für eine Horizontalintensität = 0,200 geaicht. Für Rostock ist diese nun in den Jahren 1892 und 1893 im Mittel = 0,183 gewesen. Diese Differenz kann hier nicht ins Gewicht fallen, da ja mit dem Instrumente nur die Konstanz einer und derselben Stromstärke konstatiert werden sollte.

Tabelle VIII.

Angabe des Thermometers.	Galvanometer-ausschläge in mm.
0,500°	51,0
0,912°	90,5
1,230°	121,0
1,500°	150,0
1,800°	181,0
2,121°	210,5
2,510°	251,0
2,901°	292,5
3,052°	307,0
3,410°	342,5
3,950°	398,0

Aus diesen Zahlen ist wohl zur Genüge die Thatsache zu erkennen, dass die Galvanometerausschläge proportional der Temperatur sind. Ähnliche Aichungen sind noch wiederholt vorgenommen worden; sie haben immer zu demselben Ergebnisse geführt.

3. Das Galvanometer.

Das von mir benutzte Galvanometer ist ein Wiedemann'sches, wie es von Edelmann-München hergestellt wird und in der elektrotechnischen Zeitschrift[1] sowie Kittler's Handbuch der Elektrotechnik[2] beschrieben ist. Es entspricht voll und ganz den Anforderungen, die für die vorliegenden Untersuchungen an dasselbe gestellt werden mussten. Es ist freilich zweifellos, dass in neuerer Zeit bedeutend empfindlichere Instrumente dieser Art konstruiert werden, und es sind auch auf diesem Wege nur noch bedeutendere Verbesserungen der Bolometrie möglich, wie ich vorhin bereits anführte[3]. So ist

[1] Elektrotechn. Zeitschrift, Heft 21, 1891.

[2] Kittler, Handbuch der Elektrotechnik, I, pag. 219.

[3] cf. pag. 26 dieser Abhandlung.

das astastische Thomson'sche Galvanometer sehr viel empfindlicher gemacht worden durch die von Herrn Snow[1] angebrachten Änderungen, und es ist auch von den Herren H. E. J. G. du Bois und H. Rubens ein solches insbesondere für die Praxis konstruiert worden[2]. Noch mehr ist das Galvanometer durch Herrn Dr. F. Paschen[3] verbessert worden durch zweckmässige Anordnung der Multiplikatorrollen, durch Verwendung einer grösseren Anzahl (13) von Magnetstäbchen, die zu Komplexen verbunden sind, und durch verfeinerte Aufhängung des ganzen Systemes an Quarzfäden. Solche Instrumente sind, wie gesagt, da, wo es auf die höchste Empfindlichkeit ankommt, also bei der strahlenden Wärme, von grösster Wichtigkeit. Doch kommt es bei meinen Versuchen nicht so sehr auf die Empfindlichkeit des Galvanometers an als darauf, dass die Einstellung der Nadel möglichst schnell vor sich geht; dies kann aber nur bei aperiodischer Dämpfung geschehen, wenngleich bekanntlich dadurch das Galvanometer an Empfindlichkeit Einbusse erleidet. Dieser Nachteil wird eben durch genügende Feinheit des Bolometers wieder ausgeglichen.

Wie die Tabelle VIII ergiebt, entspricht also bei der angegebenen Stromstärke einem Ausschlag von 1 Skalenteil[4] eine Temperaturerhöhung von $^1/_{100}{}^0$ C. Der Abstand der Skala vom Spiegel ist dabei = 3,75 m genommen. Da aber noch mit Leichtigkeit $^1/_4$, ja $^1/_{10}$ Skalenteil abgelesen werden können, so werden ungefähr $^1/_{400}$—$^1/_{1000}$ Grade angegeben. Diese Empfindlichkeit habe ich als für

[1] Wiedem. Ann. 47, pag. 214 (1892).

[2] Verfasser hatte im Oktober 1893 Gelegenheit, im physikalischen Institut der Universität Berlin sich persönlich von der hohen Empfindlichkeit des von der Firma Keiser und Schmidt, Berlin, ausgeführten Instrumentes zu überzeugen.

[3] Zeitschrift für Instrumentenkunde, 1893, Januar, pag. 13—17, und Wiedem. Ann. 48, pag. 279—284 (1893).

[4] Ein Skalenteil war = 1 mm.

die anzustellenden Untersuchungen am passendsten gefunden. Durch Erhöhung der Stromstärke könnte die Grösse der Ausschläge natürlich noch bedeutend gesteigert werden, wie das auch diejenigen Physiker gethan haben, welche das Instrument für Intensitätsmessungen der Wärmestrahlen anwendeten, wo die Temperaturen ja verhältnismässig sehr klein sind. Doch sollte hier nicht die Anzahl der Grade, die noch abgelesen werden können, zu sehr beschränkt werden, was ja immer durch Vergrösserung der Intensität des Stromes geschehen wird. Ebenso war eine so geringe Stromstärke, um eine Erwärmung der Kalorimeterflüssigkeit zu vermeiden, durchaus nötig.

4. Das Barometer.

Zur Ablesung des Barometerstandes diente ein solches von Fuess-Berlin (Nr. 75) mit konstantem Niveau. Die Weite der vertikal übereinander liegenden Schenkel war ungefähr 12 mm. Aus diesem Grunde und mit Berücksichtigung des Umstandes, dass eine Änderung des Barometerstandes um 1 mm eine solche des Siedepunktes um nur $^1/_{27}{}^0$ C. zur Folge hat, wurde vorderhand von einer Korrektion wegen des Einflusses der Kapillarität Abstand genommen. Die Reduktion des Barometerstandes auf 0^0 erfolgte in Anbetracht dessen, dass die Skala aus Messing war, nach der Formel:

$$b_0 = b_t - 0{,}000\,162\, b_t \cdot t,$$

wo b_t der abgelesene und b_0 der auf 0^0 reduzierte Barometerstand ist. Die Temperatur im Innern des das Barometer umschliessenden Metallmantels wurde an einem in ganze Centigrade geteilten Thermometer abgelesen, welches sich gleichfalls in der Metallhülle befand und durch einen in letzterer befindlichen Schlitz beobachtet wurde.

Dieses Thermometer wurde mit dem Normalthermo-

meter verglichen; es ergab sich die folgende Korrektionstabelle:

Tabelle IX.

Korrigierte Temperatur des Normal-Thermometers.	Angabe des Barometer-Thermometers.	Korrektion:
7,86	8,0	—0,14
9,70	9,80	—0,10
10,90	11,00	—0,10
11,70	11,80	—0,10
13,20	13,3	—0,10
13,70	13,80	—0,10
14,10	14,20	—0,10
17,67	17,80	—0,13
24,91	25,00	—0,09

Der Gang des Thermometers ist also wohl hinreichend regelmässig; seine Angaben wurden nach Grunmach auf das Lufttthermometer[1] reduziert.

[1] Grunmach, Metronomische Beiträge, Nr. 3, Berlin 1881.

Zweiter Teil.

Zur spezifischen Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

Die schon vorhandenen Arbeiten über diesen Gegenstand sind am Eingange dieser Abhandlung ausführlich besprochen worden, und es muss nur noch hinzugefügt werden, dass mit der vorliegenden Arbeit zunächst nur ein „Beitrag“ hat geliefert werden sollen, wie schon die Überschrift dieses Abschnittes durch Vorsetzung des Wörtchens „zu“ andeutet. Weitere Experimente sollen eben mit wo möglich noch verfeinerten Messungsmethoden folgen und auf möglichst hohe Temperaturen ausgedehnt werden.

Bei der gegenwärtigen Untersuchung kam die Mischungsmethode zur Anwendung, welche mit manchen Nachteilen doch grosse Genauigkeit der Resultate bei hinreichend sorgfältiger Messung verbindet. In dem Kalorimeter befand sich immer das Wasser von der niedrigeren Temperatur, während siedendes Wasser hinzugebracht wurde, dessen Siedepunkt aus dem jedesmaligen, auf 0° reduzierten Barometerstande gefunden wurde[1]. Dieser

[1] Der Vorschlag, die eine Temperaturablesung durch eine Barometerablesung zu ersetzen, ist zuerst von Herrn L. Pfaundler gemacht worden. Cf. „Über die spez. Wärme des Wassers nach Versuchen von Dr. Baumgartner“, l. c., pag. 2. Für untere Temperaturen wird eine solche nahe 0° empfohlen. Ein ins Gewicht fallendes Abweichen des

wurde sowohl zu Anfang als zu Ende der Beobachtung abgelesen und dann das Mittel genommen. Doch waren diese beiden Ablesungen infolge der Schnelligkeit der Messung in den meisten Fällen nahezu übereinstimmend. Die im Sommer 1892 angestellten Versuche fanden in demselben Zimmer statt, in dem sich das Barometer befand, die späteren dagegen in einem 5 m höher gelegenen; dieser Umstand wurde, wie vorhin schon erwähnt worden ist, durch Subtraktion von 0,5 mm vom Barometerstande hinreichend berücksichtigt.

Die Versuche wurden im allgemeinen immer in folgender Weise ausgeführt: Zunächst wurde vor dem Beginn aller Messungen im August 1892 und desgleichen im Jahre 1893/94 längere Zeit — mitunter mehrere Tage — der Strom ununterbrochen durch die Drahtkombination hindurchgeschickt, um einen gleichmässigen Gang der Angaben des Instrumentes zu erzielen. Dies Verfahren ist nötig, da man die Wahrnehmung gemacht hat, dass ohne diese Operation zuweilen der Widerstand sich nicht ganz proportional der Temperatur ändert. Ebenso wurde vor Beginn eines jeden Versuches der Strom anhaltend geschlossen, um ein gleichmässiges Erwärmen aller Zweige zu erzielen; dann erst überzeugte man sich von der Konstanz des Nullpunktes und der sich gleich bleibenden Empfindlichkeit des Instrumentes. Das selbstverständlich destillierte Wasser wurde mehrere Stunden in verdecktem Gefässe im Zimmer aufgestellt, damit es möglichst die Temperatur des letzteren annehme. Ausserdem wurde es vorher längere Zeit ausgekocht, um es noch möglichst von Luft zu befreien. Ganz ist dies

Siedepunktes von dem dem Barometerstande entsprechenden konnte, nachdem die Korrektion wegen des heraushängenden Fadens gemacht worden war, von mir nicht gefunden werden, namentlich war dies gleich 0, wenn das Wasser über $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde kochte. Auch war wohl kein Wärmeverlust beim Eingiessen in das Kalorimeter zu befürchten, da jene Manipulation wegen der verhältnismässig geringen Menge fast momentan erfolgen konnte.

natürlich nicht möglich. Häufig wurde auch kälteres Wasser dadurch gewonnen, dass das Kalorimeter in eine Kältemischung gesetzt wurde, so namentlich bei den Temperaturen nahe 0°. In diesem Falle wurde übrigens auch der Kessel *E* (cf. Fig. 1 auf Tafel II) mit fein gestossenem Eise gefüllt; zu dem Zwecke wurde er umgekehrt in *D* hineingestellt, so dass das Eiswasser durch *G* abfliessen konnte. Gewöhnlich wurden zu gleicher Zeit zwei Versuche präpariert, indem in zwei Kalorimetern I und II Wasser abgewogen wurde. Befanden sich dann die Gefässe in dem Kasten, so konnte fast immer eine längere Konstanz der Temperatur der Flüssigkeit nachgewiesen werden. Da die Skala beiderseitig nur 400 mm-Teile — zusammen also 800 — hatte, so mussten sich bei der gewählten Empfindlichkeit des galvanischen Differentialthermometers die Messungen immer in dem Intervall von 8 Graden halten. Diese Beschränkung hat insofern einige Schwierigkeiten zur Folge, als die Menge des zuzugiessenden siedenden Wassers stets so gewählt werden musste, dass die erhaltene Mischungstemperatur nicht ausserhalb der Skala lag. Eine ganze Reihe von Versuchen missglückte aus diesem Grunde; doch konnte nach längerer Übung und ungefährer Vorausberechnung der Endtemperatur schliesslich zur Zufriedenheit gearbeitet werden. Ein anderer Fehler kann nun dadurch entstehen, dass die Wände des Kalorimeters eventuell mit Dampf beschlagen; war dies der Fall, so wurde auch dann der betreffende Versuch als verfehlt aufgegeben. Ferner bietet es einige Schwierigkeit, die hinzukommende heissere Flüssigkeit so schnell als möglich vollständig mit dem Kalorimeterwasser durch Rühren zu mischen. Durch einen passend gehandhabten Rührer, sowie auch durch teilweises Bewegen der im Wasser befindlichen Bolometergitter wurde dieses doch erreicht, wovon man sich durch Heben und Senken der Gitter in der Flüssigkeit überzeugte; die Ablesungen am Galvanometer gaben in den

verschiedenen Stellungen der Gitter fast nahezu denselben Wert. Der ganze Vorgang der Mischung nahm übrigens meistens nur 15—20 Sekunden in Anspruch, zuweilen noch weniger. Die anfängliche Temperatur des Kalorimeterwassers wurde vor dem Zugiessen des heissen von 10 zu 10 Sekunden etwa 2 Minuten lang beobachtet. Aus dieser Messung wurde die Temperatur im Augenblicke der Mischung bestimmt. Nach dem Einbringen des siedenden Wassers wurde die Temperatur von 5″ zu 5″ notiert. Dass die Endtemperatur erreicht war, wurde daran erkannt, dass sich nachher die Temperatur nur um geringe Bruchteile änderte, oft sogar fast gar nicht mehr. Dass der Kasten sehr gut gegen Wärmeverlust nach aussen, bezw. Wärmezufuhr geschützt war, ist daraus zu ersehen, dass die Temperatur im Innern sich selbst im Laufe mehrerer Tage sehr wenig änderte, wie aus den Tabellen ersichtlich ist. Eine weitere Beschränkung legte ich der Ausdehnung meiner Untersuchungen dadurch auf, dass ich doch immer nur Messungen in dem Intervalle machen zu dürfen glaubte, welches sich der gerade herrschenden Zimmertemperatur am besten anpasst. Um letztere für den Versuch geeignet zu erhalten, liess ich im Winter das Zimmer dementsprechend heizen. Die Beobachtungen bei niederen Temperaturen konnten leider nicht in dem grossen Massstabe vorgenommen werden, wie anfänglich beabsichtigt war, da die Witterung bis Weihnachten 1893 unverhältnismässig milde war. Den Fehlerquellen, welche durch Strahlung vielleicht entstehen könnten, suchte ich teils dadurch zu begegnen, dass das Kalorimeter mit mehr oder weniger Watte noch extra umwickelt wurde, je nachdem sich seine Temperatur von der Umgebung in grösserem oder kleinerem Umfange unterschied, teils durch Anwendung des sogenannten Rumford'schen Kunstgriffes[1], welcher bekanntlich darin

[1] Dies ist in der Tabelle der Resultate durch + und — angedeutet, je nachdem der Ausschlag bei gleich bleibender Richtung des Hauptstromes nach links oder rechts erfolgte.

besteht, dass man die Anfangstemperatur des Kalorimeters um so viel unter der des Zimmers[1] wählt, als die Endtemperatur darüber liegen wird. Es waren auch mehrere Messungen bis zu 80° hinauf zwecks Feststellung der mittleren spez. Wärme zwischen 0° und 100° gemacht worden, doch habe ich diese nicht mit zur Rechnung herangezogen, weil mir die Resultate wegen der hierbei in Betracht kommenden Wärmestrahlung nicht sicher genug erschienen. Auch wurden die Gitter durch diese hohen Temperaturen sehr angegriffen; man muss ihnen für diesen Zweck doch noch eine andere Form und Beschaffenheit geben. — Die Wägungen wurden mit Hülfe einer feinen Wage nach der Schwingungs-Methode ausgeführt und auf den luftleeren Raum reduziert. Es wurde besonders darauf gesehen, dass das Gewicht der Kalorimeterflüssigkeit stets nahezu dasselbe war. Dadurch wurde eben das Abschätzen der einzugiessenden Menge heissen Wassers bedeutend erleichtert.

Die angestellten Versuche — soweit sie von Erfolg hinsichtlich der Endtemperatur und des Nichtbeschlagens der Gefässwand gekrönt wurden — sind in den folgenden Tabellen wiedergegeben. (pag. 46—50.)

Die Berechnung stellt sich einfach folgendermassen dar: Ist a das in Grammen ausgedrückte Gewicht des Wassers im Kalorimeter, t_a dessen Anfangstemperatur, p das Gewicht des zugebrachten heissen Wassers von der Siedetemperatur T, t_e die Mischungstemperatur und w der Wasserwert des zur Verwendung gekommenen Kalorimeters, so ist das Verhältnis c der mittleren spez. Wärme zwischen T und t_e zu der zwischen t_e und t_a gegeben durch die Formel:

$$c = \frac{(a+w)}{p} \cdot \frac{(t_e - t_a)}{T - t_e}$$

[1] Diese Zimmertemperatur war auch im Sommer ziemlich konstant, da das Zimmer, in dem die Versuche von 1893/94 angestellt wurden, nach Norden gelegen war.

Als Wasserwerte der beiden Kalorimeter nebst Zubehör wurden durch Rechnung gefunden die Werte: Kalorimeter I: $w_1 = 3{,}87638$, Kalorimeter II: $w_2 = 3{,}906$ g cal. Die Veränderlichkeit der spez. Wärme des Wassers konnte hierbei selbstverständlich noch nicht in Betracht gezogen werden.

Aus den erhaltenen Resultaten[1] suchte ich mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate eine Beziehung für den Verlauf der spez. Wärme in dem Intervalle von 0^0—30^0 zu finden. Diese nicht wenig anstrengende und ermüdende Rechnung, welche mehrere Monate in Anspruch nahm und an $^1/_3$ der Beobachtungen in der Weise ausgeführt wurde, dass unter gleichen Verhältnissen erhaltene Ergebnisse (d. h. solche von nahezu gleichem t_a, t_e und a) zu Mittelwerten zusammengezogen wurden, liefert bekanntlich für die wahre spez. Wärme bei t^0 einen Ausdruck von der Form:

$$c_t = 1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \delta t^4 + \varepsilon t^5, \quad [1]$$

woraus sich für die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 g Wasser von 0^0 auf t^0 zu erwärmen, der Ausdruck ergiebt:

$$Q = t + \frac{\alpha}{2} t^2 + \frac{\beta}{3} t^3 + \frac{\gamma}{4} t^4 + \frac{\delta}{5} t^5 + \frac{\varepsilon}{6} t^6, \quad [2]$$

und endlich für die mittlere spezifische Wärme zwischen t und T Grad:

$$[3] \quad C_{T,t} = 1 + \frac{\alpha}{2}(T+t) + \frac{\beta}{3}(T^2 + T\cdot t + t^2)$$
$$+ \frac{\gamma}{4}(T^2 + t^2)(T+t) + \frac{\delta}{5}(T^4 + T^3\cdot t + T^2\cdot t^2 + T\cdot t^3 + t^4)$$
$$+ \frac{\varepsilon}{6}(T^3 + t^3)(T^2 + T\cdot t + t^2).$$

Für die hierin vorkommenden Konstanten wurden folgende Werte gefunden:

$\alpha = -0{,}0_2133\,581\,793$ $\qquad$ $\gamma = -0{,}0_4186\,552\,174$

$\beta = +0{,}0_327\,846\,875$ $\qquad$ $\delta = +0{,}0_643\,302$

$\varepsilon = -0{,}0_829\,058.$

[1] vide die Tabellen pag. 46—50.

Zeit der Beobachtung.	Abgelesener Barometerstand.	Temperatur am Barometer.	Reduzierter Barometerstand.	T Dem Barometerstande entsprechende Siedetemperatur	Zimmertemperatur.	a	Kalorimeter-№	p	Die der Nullstellung entsprechende Temperatur.	Skalenausschlag: s_a	Dazu: t_a	Skalenausschlag: s_e	Dazu: t_e	e
1892														
1. Aug.	756,40	20,2	753,92	99,78	21,0	117,092	I	5,431	20,8	+ 31,50	21,1150	+ 375,00	24,5500	1,0170
2. „	752,35	20,2	749.89	99,63	21,0	119,250	I	5,002	21,0	+ 45,50	21,4550	+ 355,50	24,5550	1,0165
3. „	758,50	19,0	756,27	99,86	20,5	121,363	I	5,500	20,0	+ 20,25	20,2025	+ 360,50	23,6050	1,0160
4. „	756,45	18,5	754,18	99,79	19,5	124,678	I	5,447	19,5	+ 56,00	20,0600	+ 385,50	23,3550	1,0171
5. „	760,75	18,0	758,53	99,95	18,8	122,367	I	2,638	18,5	+ 31,00	18,8100	+ 199,00	20,4900	1,0159
6. „	761,20	18,5	758,92	99,96	19,8	122,460	I	5,515	20,0	+ 47,75	20,4775	+ 385,50	23,8550	1,0166
7. „	758,50	19,5	756,10	99,85	19,9	122,500	I	4,683	20,0	+ 50,50	20,5050	+ 338,50	23,3850	1,0164
7. „	758,25	19,8	755,82	99,85	20,4	121,909	I	4,595	20,5	+ 32,00	20,8200	+ 315,00	23,6500	1,0165
8. „	759,30	18,5	757,02	99,89	19,8	122,550	I	5,983	19,8	+ 33,00	20,1300	+ 399,00	23,7900	1,0163
9. „	756,00	20,8	753,45	99,76	21,5	120,565	I	6,297	20,0	+ 10,50	20,1050	+ 400,00	24,0000	1,0160
10. „	760,55	20,0	758,09	99,93	21,3	126,367	I	5,806	20,2	+ 9,50	20,2950	+ 354,50	23,7450	1,0158
11. „	764,05	19,5	761,64	100,06	21,0	126,300	I	3,583	20,0	+ 95,00	20,9500	+ 310,25	23,1025	1,0162
12. „	764,25	19,0	761,90	100,07	20,2	124,250	I	6,286	20,0	+ 20,00	20,2000	+ 399,50	23,9950	1,0167
13. „	761,20	19,4	758,81	99,95	20,5	120,506	I	6,047	20,1	+ 2,75	20,1275	+ 378,00	23,8800	1,0150
15. „	760,30	19,2	757,94	99,93	20,4	121,560	I	4,868	20,2	+ 2,50	20,2250	+ 305,00	23,2500	1,0164
16. „	763,15	18,3	760,89	100,04	19,0	123,455	I	7,313	20,0	— 45,50	19,5450	+ 398,25	23,9825	1,0159
17. „	759,05	18,5	756,78	99,88	19,2	122,360	I	7,593	19,9	— 85,50	19,0450	+ 380,00	23,7000	1,0158
18. „	764,15	17,5	761,98	100,07	18,5	120,575	I	7,798	19,5	— 130,50	18,2050	+ 360,50	23,1050	1,0160
19. „	755,20	19,4	752,83	99,73	20,2	121,367	I	5,796	20,0	— 3,50	19,9650	+ 355,00	23,5500	1,0168
20. „	758,10	19,5	755,71	99,84	20,7	122,467	I	4,525	20,1	+ 31,00	20,4100	+ 310,00	23,2000	1,0163
22. „	766,50	18,6	764,19	100,16	19,8	123,668	I	5,701	20,0	+ 20,50	20,2050	+ 368,00	23,6800	1,0165
23. „	759,55	24,4	756,55	99,87	25,6	124,675	I	5,894	24,5	+ 30,50	24,8050	+ 365,00	28,1500	1,0172
24. „	758,50	24,5	755,50	99,84	26,5	121,455	I	4,082	25,0	+ 110,50	26,1050	+ 347,00	28,4700	1,0174
25. „	755,35	25,5	752,23	99,72	27,3	122,685	I	4,916	25,1	+ 117,75	26,2775	+ 397,00	29,0700	1,0175
26. „	755,25	24,5	752,25	99,72	26,5	123,750	I	5,091	25,0	+ 100,50	26,0050	+ 388,00	28,8800	1,0174
1893														
23. Mai	761,30	17,2	759,18	99,97	17,0	122,540	I	5,100	16,0	+ 50,50	16,5050	+ 379,00	19,7900	1,0155

Zeit der Beobachtung.	Abgelesener Barometerstand.	Temperatur am Barometer.	Reduzierter Barometerstand.	T Dem Barometerstande entsprechende Siedetemperatur.	Zimmertemperatur.	a	Kalorimeter-№	p	Die der Nullstellung entsprechende Temperatur.	Skalenausschlag: s_a	Dazu: t_a	Skalenausschlag: s_e	Dazu: t_e	c
1893														
24. Mai	756,35	18,20	754,12	99,78	18,0	122,455	II	4,155	16,5	+ 115,50	17,6550	+ 381,00	20,3100	1,0160
25. „	759,50	17,30	757,37	99,90	17,2	121,365	I	4,855	16,4	+ 40,00	16,8000	+ 355,00	19,9500	1,0163
26. „	758,75	16,40	756,23	99,86	16,5	120,216	II	6,275	16,5	— 10,00	16,4000	+ 397,75	20,4775	1,0161
27. „	758,50	17,30	756,37	99,86	17,0	121,346	II	6,144	16,5	+ 3,00	16,5300	+ 398,50	20,4850	1,0157
29. „	758,50	16,00	756,53	99,87	16,0	124,256	I	7,002	16,4	— 45,00	15,9500	+ 396,25	20,3625	1,0156
30. „	756,50	17,00	754,42	99,80	16,5	123,750	II	6,672	16,5	— 20,50	16,2950	+ 400,50	20,5050	1,0158
3. Juni	756,95	16,30	754,95	99,82	16,2	124,560	I	6,696	16,6	— 21,00	16,3900	+ 398,50	20,5850	1,0155
6. „	769,40	18,30	767,12	100,26	18,0	124,450	II	4,261	16,5	+ 131,00	17,8100	+ 400,00	20,5000	1,0160
8. „	768,15	18,70	765,82	100,21	18,8	123,650	I	3,113	16,4	+ 201,00	18,4100	+ 399,00	20,3900	1,0162
8. „	767,65	18,90	765,31	100,19	18,5	122,950	II	3,114	16,4	+ 199,00	18,3900	+ 398,00	20,3800	1,0159
9. „	767,50	19,40	765,09	100,18	19,0	124,350	II	2,436	16,5	+ 245,00	18,9500	+ 397,00	20,4700	1,0158
	767,20	19,20	764,81	100,18	19,0	123,650	I	2,346	16,5	+ 246,00	18,9600	+ 395,00	20,4500	1,0157
10. „	764,30	18,30	762,00	100,07	18,0	123,255	I	3,926	16,6	+ 130,00	17,9000	+ 380,00	20,4000	1,0161
	763,20	18,10	760,96	100,04	18,1	122,675	II	3,940	16,6	+ 145,00	18,0500	+ 396,50	20,5650	1,0162
1. Juli	764,15	16,00	762,17	100,08	16,0	124,367	II	6,835	16,4	— 35,50	16,0450	+ 396,00	20,3600	1,0158
2. „	765,10	17,50	762,93	100,11	17,0	125,670	I	6,086	16,5	+ 10,00	16,6000	+ 390,25	20,4025	1,0155
3. „	764,30	18,00	762,27	100,08	17,8	124,565	II	4,513	16,6	+ 110,50	17,7050	+ 394,25	20,5425	1,0154
4. „	764,90	18,00	762,67	100,10	17,9	123,675	I	4,710	16,8	+ 100,25	17,8025	+ 397,75	20,7775	1,0156
5. „	763,15	19,00	760,81	100,03	18,5	122,665	II	3,944	16,9	+ 150,00	18,4000	+ 400,50	20,9050	1,0160
6. „	762,30	19,30	759,92	99,99	19,0	124,256	I	3,577	17,0	+ 175,00	18,7500	+ 399,00	20,9900	1,0156
7. „	763,55	19,50	761,14	100,04	19,2	128,667	II	4,154	17,5	+ 150,00	19,0000	+ 400,00	21,5000	1,0157
8. „	762,00	20,50	759,47	99,98	20,0	125,360	I	3,965	18,0	+ 155,00	19,5500	+ 398,00	21,9800	1,0155
	761,30	20,75	758,74	99,95	19,8	124,955	II	5,423	19,0	+ 70,50	19,7050	+ 399,50	22,9950	1,0158
15. „	757,20	18,50	754,93	99,82	18,0	119,501	I	11,591	18,0	— 341,50	14,5850	+ 400,50	22,0050	1,0149
	757,35	19,00	755,02	99,82	18,5	120,306	II	9,549	18,0	— 320,50	14,7950	+ 295,00	20,9500	1,0151
22. „	757,25	19,40	754,87	99,81	19,0	122,350	II	11,164	18,8	— 296,50	18,8350	+ 395,25	22,7530	1,0153

Zeit der Beobachtung.	Abgelesener Barometerstand.	Temperatur am Barometer.	Reduzierter Barometerstand.	T Dem Barometerstande entsprechende Siedetemperatur.	Zimmertemperatur.	a	Kalorimeter-№	p	Die der Nullstellung entsprechende Temperatur.	Skalenausschlag: s_a	Dazu: t_a	Skalenausschlag: s_e	Dazu: t_e	c
1893														
22. Juli	757,45	19,00	755,12	99,82	18,5	121,675	I	10,670	18,8	— 298,00	15,8200	+ 368,50	22,4850	1,0140
28. „	761,50	18,50	759,22	99,97	18,8	120,445	I	12,197	18,0	— 380,00	14,2000	+ 395,75	21,9575	1,0135
29. „	759,30	18,30	757,05	99,89	18,0	120,450	I	9,868	18,1	— 250,00	15,6000	+ 378,00	21,8800	1,0142
	762,55	17,70	760,36	100,01	17,8	120,355	II	10,040	18,0	— 240,00	15,6000	+ 399,25	21,9925	1,0144
2. Aug.	757,75	20,60	755,22	99,83	20,1	120,440	I	11,786	19,9	— 395,50	15,9450	+ 340,50	23,3050	1,0149
9. „	768,00	19,40	765,59	100,20	19,0	121,350	I	12,562	19,4	— 398,00	15,4200	+ 369,25	23,0925	1,0150
16. „	762,55	19,30	760,17	100,01	19,1	121,100	I	12,741	19,0	— 399,50	15,0050	+ 397,75	22,9775	1,0151
17. „	763,05	20,50	760,52	100,02	19,5	121,250	II	12,559	19,3	— 387,50	15,4250	+ 394,50	23,2450	1,0150
18. „	766,50	21,42	763,84	100,14	21,0	121,000	I	12,518	20,0	— 388,60	16,1140	+ 387,25	23,8725	1,0148
19. „	761,45	20,62	758,91	99,96	20,0	120,995	II	11,830	20,0	— 340,50	16,5950	+ 390,50	23,9050	1,0147
20. „	761,95	21,00	759,36	99,97	20,0	120,895	I	11,971	20,1	— 344,50	16,6550	+ 395,00	24,0500	1,0152
	760,85	22,50	758,07	99,93	21,5	120,250	II	11,051	20,3	— 348,50	16,8150	+ 340,25	23,7025	1,0150
21 „	759,65	23,00	756,82	99,88	22,5	120,155	I	12,670	20,4	— 384,00	16,5600	+ 398,50	24,3850	1,0146
	758,95	23,40	756,07	99,85	23,0	120,165	II	12,689	20,6	— 383,50	16,7650	+ 397,50	24,5750	1,0145
	758,40	23,60	755,50	99,84	23,0	120,175	I	12,649	20,6	— 382,00	16,7800	+ 396,75	24,5675	1,0146
22. „	753,75	19,20	756,39	99,87	19,0	120,505	II	12,513	19,1	— 394,50	15,1550	+ 390,25	23,0025	1,0150
	759,10	21,30	756,48	99,87	21,0	121,565	I	12,408	19,1	— 376,25	15,3375	+ 394,50	23,0450	1,0142
	759,45	22,50	756,68	99,88	22,0	122,567	II	12,271	19,1	— 365,50	15,4450	+ 390,75	23,0075	1,0141
23. „	761,05	19,50	758,63	99,95	19,1	122,560	I	10,687	19,0	— 390,00	15,1050	+ 280,50	21,8050	1,0140
28. „	762,55	17,70	760,36	100,01	16,9	121,567	I	10,887	18,0	— 399,50	15,0000	+ 385,00	21,8500	1,0145
	763,10	18,50	760,81	100,03	18,2	121,665	II	12,717	18,1	— 400,50	14,0950	+ 400,00	22,1000	1,0142
5. Sept.	762,25	16,70	760,19	100,01	16,1	121,765	I	12,078	16,0	— 395,00	12,0500	+ 386,50	19,8650	1,0143
6. „	757,35	16,90	755,28	99,83	16,3	121,255	II	11,892	16,0	— 392,00	12,0800	+ 379,25	19,7925	1,0141
7. „	752,70	15,50	750,81	99,66	15,0	121,200	I	11,770	15,9	— 358,50	12,3150	+ 400,50	19,9050	1,0133
8. „	751,35	14,90	749,54	99,61	14,4	121,250	II	12,225	15,8	— 398,00	11,8200	+ 392,75	19,7275	1,0134
10. „	757,25	14,40	755,48	99,83	14,0	121,155	I	11,703	15,4	— 365,75	11,7425	+ 397,50	19,3750	1,0135

Zeit der Beobachtung.	Abgelesener Barometerstand.	Temperatur am Barometer.	Reduzierter Barometerstand.	T Dem Barometerstande entsprechende Siedetemperatur	Zimmertemperatur.	a	Kalorimeter-№	p	Die der Nullstellung entsprechende Temperatur.	Skalenausschlag: s_a	Dazu: t_a	Skalenausschlag: s_e	Dazu: t_e	c	
1893															
10. Sept.	758,75	14,2	757,00	99,89	14,0	121,366	II	11,688	15,4	— 364,50	11,7550	+ 395,50	19,3550	1,01100	
12. „	769,80	14,3	768,02	100,29	14,2	121,766	I	11,805	15,0	— 379,00	11,2100	+ 394,50	18,9450	1,01200	
14. „	761,55	14,4	759,77	99,99	14,3	119,665	II	12,005	15,0	— 397,25	11,0275	+ 399,25	18,9925	1,01250	
20. „	749,50	16,6	747,48	99,54	16,5	119,250	II	12,185	16,4	— 400,00	12,4000	+ 394,50	20,3450	1,01400	
21. „	751,15	15,5	749,26	99,60	15,5	119,115	I	11,855	16,1	— 380,50	12,2950	+ 398,25	20,0825	1,01350	
22. „	750,25	13,5	748,61	99,58	13,6	119,100	II	12,237	15,7	— 401,00	11,6900	+ 399,00	19,6900	1,01160	
23. „	753,55	12,5	752,02	99,71	12,4	119,100	I	11,963	14,5	— 400,50	10,4950	+ 399,00	18,4950	1,01180	
1. Dez.	753,25	16,5	751,24	99,68	16,6	121,256	I	12,302	16,0	— 400,50	11,9950	+ 396,00	19,9600	1,01620	
2. „	763,65	14,7	761,83	100,06	14,9	120,356	II	11,912	15,8	— 398,25	11,8175	+ 384,50	19,6450	1,01530	
	766,30	15,9	764,33	100,16	16,0	121,350	I	12,280	15,9	— 399,50	11,9050	+ 388,25	19,8950	1,01500	
3. „	766,80	13,0	765,19	100,19	12,0	121,255	II	12,154	15,4	— 397,25	11,4275	+ 398,50	19,3850	1,01410	
	765,50	13,6	763,81	100,14	13,8	120,950	I	12,088	15,5	— 396,50	11,5350	+ 397,50	19,4750	1,01630	
5. „	767,10	16,8	765,01	100,18	17,0	120,895	II	12,105	15,6	— 395,50	11,6450	+ 398,50	19,5850	1,01560	
	767,50	15,6	765,56	100,20	18,0	120,890	I	10,550	15,7	— 290,75	12,7925	+ 399,25	19,6925	1,01340	
6. „	768,50	15,9	766,63	100,25	16,0	121,505	II	10,436	15,8	— 288,50	12,9150	+ 391,50	19,7150	1,01460	
	767,25	15,0	764,99	100,18	16,0	121,445	I	10,477	15,8	— 289,25	12,9075	+ 393,75	19,7375	1,01550	
	766,15	15,1	764,28	100,16	15,9	121,355	II	9,495	15,8	— 225,00	13,5500	+ 394,00	19,7400	1,01530	
7. „	758,25	18,8	755,95	99,85	18,0	120,955	I	11,665	16,0	— 360,50	12,3950	+ 397,00	19,9700	1,01450	
	756,55	18,5	754,28	99,79	18,0	120,954	II	4,972	16,0	+ 3,75	0,0375	+ 388,50	3,8850	1,00745	1,00758
9. „	752,35	14,0	750,64	99,66	15,0	121,505	I	5,152	15,9	+ 3,00	0,0300	+ 399,25	3,9925	1,00780	1,00800
	751,25	14,2	749,52	99,61	14,5	121,400	II	5,005	15,8	+ 4,50	0,0450	+ 390,50	3,9050	1,00750	1,00748
10. „	757,20	13,0	755,61	99,84	13,1	120,495	I	4,928	15,5	+ 8,50	0,0850	+ 391,25	3,9125	1,00710	1,00690
	757,55	13,6	755,88	99,85	13,8	120,456	II	4,938	15,5	+ 2,75	0,0275	+ 386,50	3,8650	1,00680	1,00700
13. „	754,50	12,9	752,92	99,74	12,8	122,365	I	5,084	14,9	+ 1,50	0,0150	+ 396,25	3,9625	1,00720	1,00750
	752,50	13,2	750,89	99,67	14,0	121,950	II	4,995	14,9	+ 7,50	0,0750	+ 390,25	3,9025	1,00710	1,00700

Zeit der Beobachtung.	Abgelesener Barometerstand.	Temperatur am Barometer.	Reduzierter Barometerstand.	T Dem Barometerstande entsprechende Siedetemperatur	Zimmertemperatur.	a	Kalorimeter-№	p	Die der Nullstellung entsprechende Temperatur.	Skalenausschlag: s_a	Dazu: t_a	Skalenausschlag: s_e	Dazu: t_e	c	
1893															
16. Dez.	769,60	18,8	767,26	100,27	18,5	121,355	II	4,913	14,7	+ 9,00	0,0900	+ 389,50	3,895	1,0073	1,00746
17. „	771,40	15,5	769,46	100,34	15,4	120,956	I	4,935	15,0	+ 8,25	0,0825	+ 392,25	3,9225	1,0072	1,00753
	771,50	15,9	769,51	100,35	16,0	120,450	II	4,983	15,1	+ 6,50	0,0650	+ 395,75	3,9575	1,0075	1,00770
19. „	758,40	18,4	756,14	99,86	18,5	121,251	I	5,015	16,2	+ 7,25	0,0725	+ 398,50	3,9850	1,0073	1,00760
	757,30	17,5	755,15	99,82	17,5	120,947	II	5,060	16,1	+ 5,50	0,0550	+ 397,00	3,9700	1,0074	1,00770
20. „	762,10	14,0	760,37	100,01	14,5	121,273	I	4,999	15,0	+ 12,00	0,1200	+ 398,50	3,9850	1,0076	1,00770
	748,15	12,0	746,70	99,51	12,5	120,871	II	4,970	14,8	+ 15,75	0,1575	+ 399,00	3,9900	1,0072	1,00760
	746,25	12,0	744,80	99,43	12,1	121,477	I	4,525	14,8	+ 16,50	0,1650	+ 365,00	3,6500	1,0076	1,00750
	745,30	11,5	743,91	99,41	11,8	121,379	II	4,840	14,7	+ 1,00	0,0100	+ 373,50	3,7350	1,0078	1,00760
21. „	749,30	18,0	747,12	99,52	18,1	120,897	I	4,984	15,0	+ 3,50	0,0350	+ 388,25	3,8825	1,0071	1,00760
	751,05	16,0	749,10	99,59	17,1	120,973	II	5,020	15,0	+ 2,00	0,0200	+ 389,50	3,8950	1,0072	1,00769
	751,25	16,0	749,30	99,60	16,1	121,563	I	5,110	14,9	+ 1,50	0,0150	+ 394,00	3,9400	1,0071	1,00760
22. „	759,80	12,8	758,23	99,94	12,9	121,574	II	7,748	14,0	— 194,00	12,0600	+ 321,50	17,2150	1,0090	
	760,35	12,5	758,81	99,95	12,4	121,673	I	6,554	14,0	— 85,50	13,1450	+ 349,25	17,4925	1,0100	
	760,30	12,5	758,76	99,95	12,3	121,653	II	6,200	14,1	— 25,50	13,8450	+ 383,50	17,9350	1,0099	
23. „	760,55	12,0	759,07	99,96	12,0	121,453	I	7,627	13,5	— 104,25	12,4575	+ 397,75	17,4775	1,0076	
	762,55	11,5	761,13	100,04	11,4	120,951	II	7,476	13,5	— 101,75	12,4825	+ 396,25	17,4625	1,0071	
	762,20	9,5	761,03	100,04	9,4	120,930	I	8,920	13,0	— 392,50	9,0750	+ 218,25	15,1825	1,0071	
23. „	763,00	11,0	762,64	100,10	10,5	121,251	II	6,968	9,0	— 397,00	5,0300	+ 118,50	10,1850	1,0063	
26. „	761,20	8,0	760,21	100,01	8,3	121,093	I	8,062	9,0	— 350,50	5,4950	+ 225,25	11,2525	1,0055	
	761,00	8,5	759,95	99,998	8,4	121,047	II	10,150	9,5	— 375,25	5,7475	+ 338,50	12,8850	1,0056	
29. „	780,60	12,0	779,08	100,69	12,1	121,457	I	9,478	9,5	— 288,50	6,6150	+ 376,25	13,2625	1,0054	
	780,50	12,0	778,98	100,69	12,0	120,976	II	9,465	9,6	— 275,25	6,8475	+ 389,50	13,4950	1,0059	
1894															
4. Jan.	778,5	9,0	777,36	100,63	9,1	122,367	I	6,584	9,0	— 90,50	8,0950	+ 370,50	12,7050	1,0053	
	778,0	9,5	776,80	100,61	9,4	123,450	II	6,824	9,0	— 95,00	8,0500	+ 378,00	12,7800	1,0051	

Es sind dann mit Hülfe der Gl. 1 die spez. Wärmen von Grad zu Grad berechnet und in Tab. 11 zusammengestellt worden.

Tabelle XI.

Temperatur.	Spez. Wärme.	Temperatur.	Spez. Wärme.
1	0,998 924	14	0,999 766
2	0,998 300	15	0,999 376
3	0,998 030	16	0,998 840
3,2	0,998 011	17	0,998 161
3,4	0,998 001	18	0,997 355
3,6	0,998 002	19	0,996 433
3,8	0,998 010	20	0,995 420
4	0,998 027	21	0,994 339
5	0,998 214	22	0,993 223
6	0,998 521	23	0,992 093
7	0,998 889	24	0,990 986
8	0,999 265	25	0,989 942
9	0,999 606	26	0,988 992
10	0,999 873	27	0,988 180
11	1,000 046	28	0,987 657
12	1,000 094	29	9,987 150
13	1,000 003	30	0,987 002

Auch habe ich es für angezeigt gehalten, diese Werte graphisch darzustellen, ein Vorhaben, dem sich insofern einige Schwierigkeiten entgegenstellen, als es sich hier ja nur um sehr kleine Bruchteile eines Ganzen handelt. Die Kurve auf Tafel III[1] gibt daher scheinbar eine grosse Unregelmässigkeit in dem Verlauf der spez. Wärme wieder; dieser Anschein wird aber hinfällig, wenn man bedenkt, dass, um den Wert 1 bei 0° darzustellen, die

[1] Die aus der Berechnung aufgetragenen Werte sind durch Sternchen gekennzeichnet. Auch sind die Beobachtungen Velten's und Dieterici's, soweit angängig, mit eingetragen worden. Vide die Tafel am Schluss.

Fläche des Koordinatenpapieres in vertikaler Richtung 76 mal so gross (als im gegebenen Falle) sein müsste. Aus den Beobachtungen vom 7.—21. Dez. 1893 ergibt sich unter zu Hülfenahme der Gleichung [3] für die mittlere spez. Wärme von 0—100 ° der Wert 1,0054; Dieterici giebt ihn zu 1,0045 an. Um zu zeigen, dass die Berechnung mit der Beobachtung übereinstimmt, sind die gedachten Werte für $c_{0-100} = 1{,}0054$ berechnet und in die letzte Kolumne eingetragen. — Für die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 g von 0 auf 30 ° zu erwärmen, ergiebt sich 29,879 g Kal. Die wahre spez. Wärme für 30 ° stimmt nahezu mit der von Dieterici angegebenen überein. Auch lässt die Kurve erkennen, dass zwischen 30 ° und 40 ° ein Minimum liegen muss, was den Angaben Velten's und Dieterici's entsprechen würde. Ein Sinken der spez. Wärme findet also bis zu 30 ° jedenfalls statt; dies haben auch schon Rowland[1] gelegentlich der Bestimmung des mechanischen Wärmeäquivalentes und G. A. Liebig[2] durch einige direkte Mischungsversuche wahrscheinlich gemacht. Doch findet dieses Sinken nicht in so grossem Masse statt, wie Velten es gefunden hat.

Dieses Gesamtergebnis steht offenbar in direktem Widerspruch mit der grösseren Anzahl der übrigen Untersuchungen, wie denjenigen Regnault's, Jamin-Amaury's, Hirns' etc., welche alle ein gleichmässiges Wachsen mit der Temperatur konstatieren.

Die wichtige Frage, ob das eine oder das andere richtig sei, zu entscheiden, ist ohne Zweifel sehr schwierig. Denn bekanntlich ist die spec. Wärme der Flüssigkeiten eine Funktion dreier Variabeln: 1. Die zugeführte Wärme erhöht die Bewegungsenergie der Molekeln. 2. Sie wird

[1] Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences. (15) 7, 1880, p. 75—200.

[2] Silliman Journal 26, p. 57, 1883.

zu intramolekularer Arbeit verwendet, indem die Molekel bei steigender Temperatur auseinanderrücken. 3. Es ist Arbeit innerhalb der Moleküle erforderlich, indem der Zusammenhang der konstituierenden Atome geändert wird. Keine dieser Grössen hat man bisher mit den zu Gebote stehenden Mitteln für sich messen können. Man konnte daher auch nicht mit Bestimmtheit sagen, welche von diesen Grössen die eine oder die andere überwiegt, oder ob sie sich aufheben. Folgen wir z. B. der Annahme Röntgen's und Lehmann's, wonach zwischen 0^0 und 4^0 sich noch sehr kleine Eisstückchen im Wasser befinden sollen, so wäre Wärme erforderlich, um jene zu schmelzen; es müsste demnach, wenn nur dieser eine Faktor in Betracht käme, in Übereinstimmung mit Regnault, Bosscha Jamin-Amaury etc. die spez. Wärme von 0^0 an wachsen. Nun findet aber ja gleichzeitig eine Zusammenziehung von 0^0 bis 4^0 statt, und es spricht nichts dagegen, weshalb nicht die dabei frei werdende Wärme imstande sein könnte, die Eisstücke zu schmelzen und ausserdem noch zur Temperaturerhöhung beizutragen. Demnach müsste die spez. Wärme von 0^0 bis $4^0 < 1$ sein, was mit den Angaben Veltens, Diterici's etc. und den meinigen übereinstimmen würde. Von 4^0 an findet eine Ausdehnung statt. Dazu ist Arbeit erforderlich; also müsste die spez. Wärme wieder steigen, wenn auch nicht so schnell, wie Pfaundler und Platter vermuteten. Über 12^0 hinaus wird sie fallen, da dann die Moleküle hinreichend gelockert sein können, so dass die zur weiteren Ausdehnung erforderliche Wärme nicht mehr so gross ist. Zwischen 30^0 und 40^0 ist es wahrscheinlich, dass sie mehr oder minder steigt, bis 100^0, da dann schon die Arbeit beginnen kann, welche zur Überführung in den dampfförmigen Zustand nötig ist; denn diese Arbeit ist bekanntlich fast siebenmal so gross als die beim Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand.

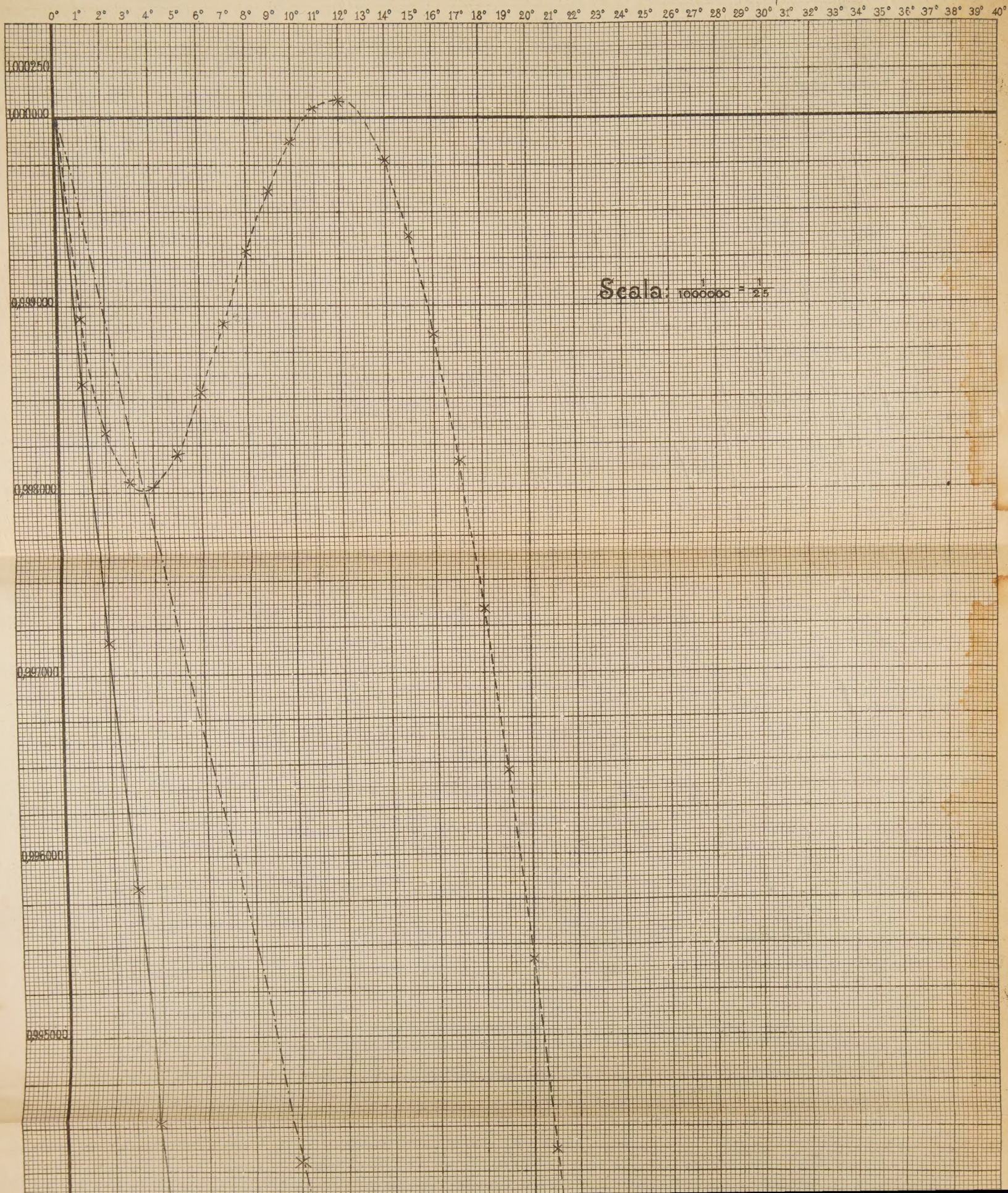
Mögen die Verhältnisse im Einzelnen nun liegen, wie

sie wollen, wir können jedenfalls aus der vorliegenden Untersuchung folgenden summarischen Schluss ziehen:

„Die spez. Wärme des Wassers nimmt im „allgemeinen von 0^0 bis 30^0—40^0 ab — ein „kleines Intervall zwischen 4 und 12^0 ausge- „nommen —; sie wächst nicht, wie Regnault, „Bosscha, Jamin-Amaury, Baumgartner, „Henrichsen, Münchhausen, M. Stamo, Gerosa „etc. annehmen; aber sie fällt nicht in so „hohem Grade, wie Velten findet, noch „weniger so stark, wie die Beobachtungen „von Pfaundler und Platter ergeben. Von „ungefähr 30^0—40^0 ab steigt sie und ist jeden- „falls in der Nähe von $100^0 > 1$, nicht < 1, „wie Velten angiebt.“

Am Schlusse meiner Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer und Chef, Herrn Professor Dr. L. Matthiessen auch an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen für das stete Wohlwollen, welches er mir während der ganzen Dauer meiner Studien, als auch insbesondere bei der Ausführung dieser Arbeit zeigte, indem er mir auf das bereitwilligste den Raum und die Mittel zur Verfügung stellte.

Tafel III.


0° 1° 2° 3° 4° 5° 6° 7° 8° 9° 10° 11° 12° 13° 14° 15° 16° 17° 18° 19° 20° 21° 22° 23° 24° 25° 26° 27° 28° 29° 30° 31° 32° 33° 34° 35° 36° 37° 38° 39° 40°
1,000250
1,000000
0,999000
0,998000
0,997000
0,996000
0,995000
Scala: 1/1000000 = 1/2.5